

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## **VÝROBA SOUČÁSTI “TÁHLO ZADNÍ”** **PRODUCTION SINGLE PARTS “PULL REAR”**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. JIŘÍ TOMÁNEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D**

BRNO 2009

## ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je navrhnout technologii výroby zadané součástky na základě technologických a ekonomických faktorů. Nejprve je zjištěno, zda je součást vyrobitelná technologií přesné stříhání. Teoretická část diplomové práce je věnována teorii konvenčního stříhání, teorii přesného stříhání a teorii ohýbání. V praktické části diplomové práce jsou zpracovány celkem čtyři varianty nástřihových plánů a na základě technicko-ekonomických propočtů vybrána ta nejvýhodnější a pro ni zpracována technologie výroby. Jedná se o výrobu součásti typu TÁHLO ZADNÍ z ocelového plechu 11 320.21 o tloušťce 3 mm při zadané výrobní sérii 75 000 kusů.

### Klíčová slova

Plošné tváření  
Přesné stříhání  
Ohýbání  
Technologie výroby

## ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to propose a production technology of a given part based on technological and economic factors. At first it is found, if the part is producible by fineblanking. The theoretical part of the diploma thesis is concerned with the description of the conventional sheet metal cutting theory, fineblanking theory and bending theory. In the practical part of the diploma thesis, four variants of cut-in plan are dealt with including the selection of the optimal one based on technological and economic calculations. It is the production of a PULL REAR iron made of the steel sheet 11 320.21, thickness of 3 mm and a production run of 75 000 pieces per year.

### Key words

Sheet metal forming  
Fineblanking  
Bending  
Technology of production

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOMÁNEK, Jiří. *Výroba součásti "Táhlo zadní"*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 111 s., 7 příloh. Vedoucí práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba součásti "Táhlo zadní" vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 26. 5. 2009

.....  
Jméno a příjmení diplomanta

## **Poděkování**

Děkuji tímto panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále děkuji panu Ing. Miloslavu Kopřivovi za pomoc při tvorbě simulace střížného procesu.

## OBSAH

Abstrakt.....	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah.....	6
Úvod.....	8
1 ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY SOUČÁSTI .....	9
1.1 Technologičnost tvaru a výroby součástí.....	9
1.2 Zhodnocení technologičnosti.....	11
2 LITERÁRNÍ STUDIE ZAMĚŘENÁ NA KONVENČNÍ STŘÍHÁNÍ .....	13
2.1 Střížný proces.....	13
2.2 Střížný proces jako rovinný stav napjatosti a přetvoření.....	15
2.3 Rozbor stavu napjatosti při volném a uzavřeném stříhání .....	15
2.4 Kvalita a tvar střížné plochy.....	17
2.5 Střížný odpor .....	19
2.6 Střížná vůle.....	19
2.7 Střížná síla a střížná práce .....	21
2.7.1 Výpočet celkové střížné síly $F_c$ .....	21
2.7.2 Výpočet střížné práce $A_s$ .....	22
3 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ.....	23
3.1 Porovnání konvenčního a přesného stříhání .....	23
3.2 Metody pro zlepšení kvality střížné plochy .....	24
3.2.1 Přistřihování .....	24
3.2.2 Kalibrování .....	26
3.2.3 Stříhání (vystřihování) se zaoblenou střížnou hranou .....	28
3.2.4 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem.....	29
3.2.5 Přesné stříhání s tlačnou hranou .....	30
3.3 Síly působící při přesném stříhání .....	34
3.3.1 Střížná síla .....	34
3.3.2 Síla přidržovače .....	34
3.3.3 Síla vyhazovače .....	34
3.4 Práce při přesném stříhání .....	35
3.4.1 Střížná práce .....	35
3.4.2 Práce přidržovače .....	35
3.4.3 Práce vyhazovače .....	36
3.5 Mazání při přesném stříhání.....	36
3.6 Materiály vhodné pro přesné stříhání .....	36
3.7 Vady vzniklé přesným stříháním.....	38
3.8 Nástroje pro přesné stříhání .....	41
3.9 Konstrukce nástrojů pro přesné stříhání .....	41
3.9.1 Nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem .....	41
3.9.2 Nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem .....	43
3.10 Upínání střížných nástrojů na lisech .....	45
3.11 Materiály použité u jednotlivých částí nástroje .....	45
3.12 Životnost a údržba funkčních částí nástroje.....	47
4 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ .....	49
4.1 Princip .....	49
4.2 Rozložení napětí v průřezu úzké tyče v průběhu jejího ohýbání .....	50

4.3 Napjatost a přetvoření při prostém ohybu.....	51
4.4 Výpočet poloměru neutrální plochy .....	52
4.5 Výpočet minimálního a maximálního poloměru ohybu .....	54
4.6 Odpružení.....	55
4.6.1 Volné ohýbání bez kalibrování materiálu.....	56
4.6.2 Ohýbání s kalibrováním.....	56
4.7 Výpočet ohýbací síly a práce.....	57
4.8 Technologické problémy ohýbání.....	59
4.9 Hlavní zásady při konstrukci ohýbadla .....	64
4.10 Rozdělení technologie ohýbání podle způsobu pohybu nástroje vzhledem ke tvářenému materiálu .....	65
5 VARIANTNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTÍ Z PLECHU.....	68
5.1 Řezání laserem .....	68
5.2 Řezání vodním paprskem.....	69
5.3 Elektroerozivní obrábění (řezání drátovou elektrodou).....	69
6 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI.....	71
6.1 Výběr optimální technologie výroby součásti.....	72
6.2 Zpracování vybrané varianty .....	72
6.2.1 Varianty nástřihových plánů .....	72
6.2.2 Koeficient využití materiálu.....	76
6.2.3 Technologické výpočty .....	78
6.2.4 Konstrukční výpočty .....	81
6.2.5 Kontrolní výpočty.....	82
6.3 Počítačová simulace procesu stříhání .....	83
6.3.1 Výstup simulace .....	83
6.4 Návrh výrobních strojů.....	87
6.5 Návrh střížného a ohýbacího nástroje .....	89
6.6 Rámcový technologický postup .....	89
7 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ .....	91
7.1 Přímé náklady .....	91
7.1.1 Náklady na materiál.....	91
7.1.2 Náklady na mzdy.....	92
7.1.3 Náklady na stroje .....	93
7.1.4 Celkové přímé náklady.....	94
7.2 Nepřímé náklady .....	94
7.3 Variabilní náklady .....	94
7.4 Fixní náklady .....	94
7.4.1 Náklady na nástroje.....	94
7.4.2 Ostatní fixní náklady.....	95
7.4.3 Celkové fixní náklady .....	95
7.5 Celkové náklady .....	95
7.6 Cena výlisku .....	96
7.7 Bod zvratu .....	96
Závěr.....	97
Seznam použitých zdrojů .....	98
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	100
Seznam příloh.....	104

## ÚVOD

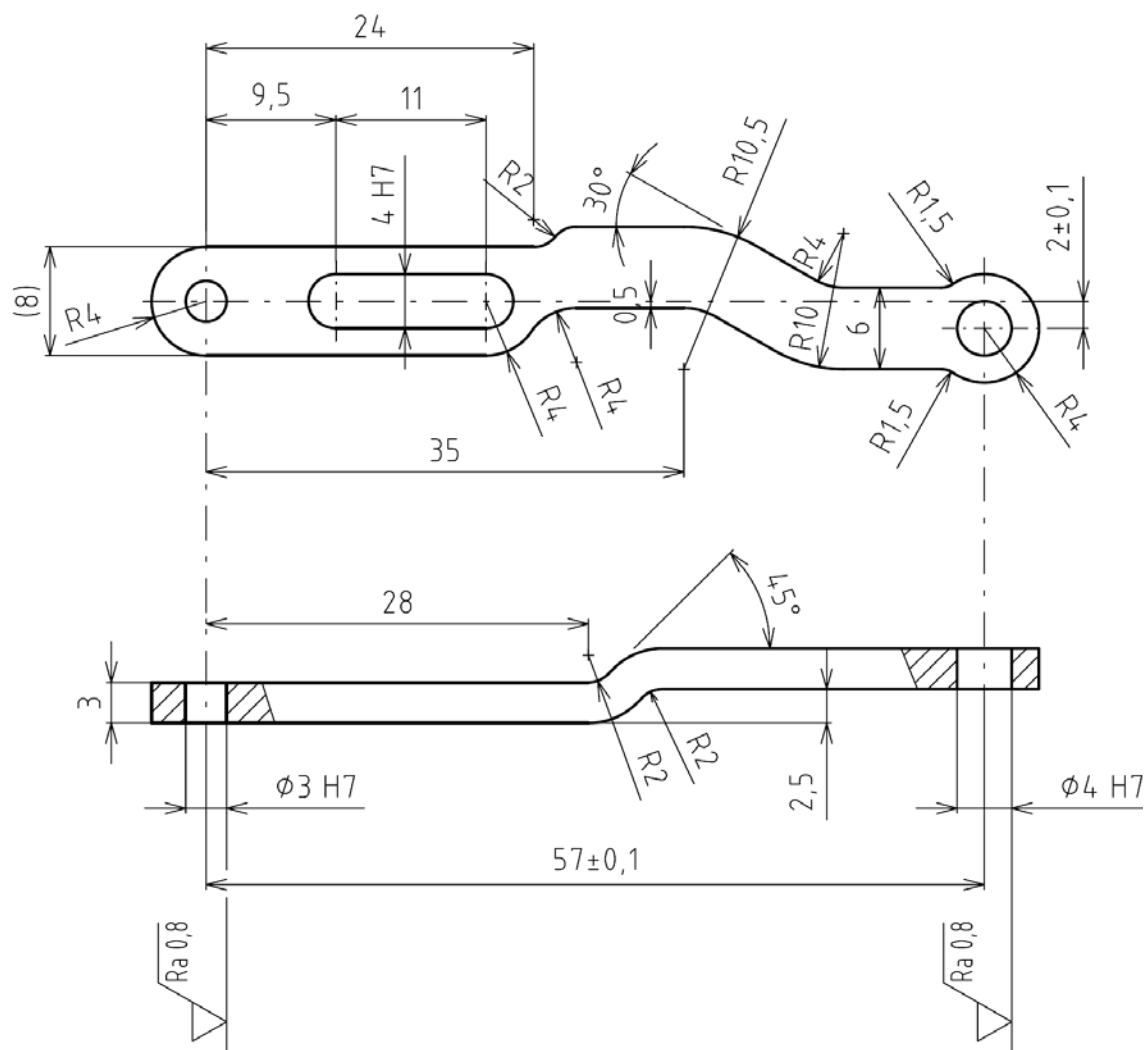
V oblasti plošného tváření zůstává plech materiálem tohoto tisíciletí. Tato věta mne zaujala natolik, že jsem se začal více zajímat o obor plošné tváření a vše vyústilo v to, že jsem se rozhodl zpracovat závěrečný projekt z této oblasti strojírenství.

Technologiemi plošného tváření (stříhání, tažení, ohýbání, atd.) lze vyrábět součásti rozličných tvarů, které by šly jen stěží vyrobit jinou technologií. Plošné tváření s porovnáním s třískovým obráběním má mnoho výhod, ale i několik nevýhod. Mezi výhody můžeme především zdůraznit vysoké procentuální využití materiálu oproti třískovému obrábění, vysoká produktivita práce a s tím spojená možnost plně automatizované výroby zvláště vhodná pro sériovou a hromadnou výrobu. Další výhodou plošného tváření může být vhodná orientace a nepřerušená vlákna v průřezu tvářeného materiálu. Asi mezi největší nevýhodu této technologie můžeme zařadit vysoké náklady na konstrukci a výrobu tvářecích nástrojů.

Tato diplomová práce se zaměřuje zejména na technologii přesného stříhání, při kterém jednoduše řečeno při každém zdvihu lisu vznikají přesné, opakovatelné plechové díly, které se již dále nemusí zpracovávat dalším výrobním postupem, čímž se výrazně snižují náklady na výrobu. Díly vyrobené touto technologií lze najít ve všech oblastech pracovního a soukromého života. Jsou to např. nůžky, nože, hnací prvky a ozubená kola pro převodovky, přestavovací mechanismy ve vozidlech, speciální díly sportovních náradí a také lékařské nástroje. Technologie přesného stříhání a tváření vždy usiluje o to, aby výkon, bezpečnost, životnost, komfort a nízká údržba byly v souladu s poskytovanou hospodárností ve výrobě.

## 1 ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY SOUČÁSTI

Nejprve bude zadaná součást (obr. 1.1) zhodnocena, jestli je danou technologií přesného stříhání výrobitelná.



Obr. 1.1 Výkres součásti „Táhlo zadní“

### 1.1 Technologičnost tvaru a výroby součásti

Podle Romanovského se technologičností rozumí „takový souhrn konstrukčních prvků, který zaručuje co nejjednodušší a nejchopitelnější výrobu při daném stupni sériovosti, přičemž je nutno dodržet technické a provozní požadavky kladené na výlisky“ [14].



Provozní a technické požadavky na výlisky jsou tyto: [14]

1. výlisek musí zcela vyhovovat navržené konstrukci, účelu a provozním podmínkám,
2. výlisek musí mít při minimální hmotnosti požadovanou pevnost, tvrdost a tuhost,
3. výlisek musí být náležitě přesný a vyměnitelný,
4. výlisek musí vyhovovat zvláštním fyzikálním, chemickým nebo tepelným požadavkům.

Hlavními ukazateli technologičnosti součástí lisovaných za studena jsou: [14]

1. co nejmenší spotřeba materiálu,
2. co nejmenší počet a pracnost operací,
3. výlisek se po zhotovení již nemá dále obrábět,
4. co nejmenší množství potřebného strojního zařízení a výrobní plochy,
5. co nejmenší počet nářadí, nejmenší náklady a lhůty na přípravu výroby,
6. produktivita jednotlivých operací má být co nejvyšší,
7. velká trvanlivost lisovacích nástrojů.

### **Poloměr rohů a hran vystřihovaných součástí**

Technologie přesného stříhání nedovoluje stříhat absolutně ostré rohy, jelikož v těchto místech dochází k vytrhávání materiálu a tvorbě trhlin. Tyto ostré rohy a hrany snižují životnost nástroje a zejména kvalitu střížných ploch. Tudíž u součástí, které mají ostré rohy a hrany musíme určit minimální hodnoty poloměrů rohů a hran. Tyto hodnoty lze určit z diagramu (příloha 1) pro materiál s pevností  $R_m = 500 \text{ MPa}$ . Pro materiály o vyšší pevnosti se poloměry příslušně zvyšují. [2,5,11]

### **Minimální průměr otvoru a minimální šířka drážky**

Omezujícím faktorem minimálních hodnot rozměrů otvorů a drážek je především životnost funkčních částí nástroje. Pro orientační určení minimálních hodnot lze použít diagram (příloha 2) pro materiál o pevnosti  $R_m = 400 \text{ MPa}$ . U materiálů o vyšší pevnosti, kde střížné síly vzrůstají, je nutno minimální hodnoty průměrů otvorů a šířky drážky zvětšit. Při přesném stříhání

můžou tyto hodnoty dosáhnout až 2/3 tloušťky materiálu, výjimečně až 1/2 tloušťky materiálu, kdežto u klasického stříhání jsme limitováni tloušťkou stříhaného materiálu jako minimální hodnotou rozměrů otvorů a drážek. [2,5,11]

### Vzdálenost mezi otvory a drážkami

Minimální vzdálenost mezi otvory a drážkami (příloha 3) závisí na pevnosti a tloušťce stříhaného materiálu. Se vzrůstající pevností a tloušťkou materiálu je nutné zvětšit hodnoty vzdáleností, neboť příliš malé vzdálenosti zhoršují kvalitu střízných ploch a snižují životnost nástroje. [2,5,11]

### Velikost postranního odpadu a šířky můstku

Při přesném stříhání musí být velikost postranního odpadu a šířky můstku větší než u klasického stříhání. U tvrdých materiálů je zapotřebí větších šířek postranního odpadu a můstku než u měkkých materiálů, neboť jinak nelze vyvodit dostatečný trojosý stav napjatosti. Současně se požaduje dostatečná tuhost okraje plechu. Minimální hodnoty postranního odpadu a můstku pro materiál o pevnosti  $R_m = 400 \text{ MPa}$  jsou uvedeny v příloze 4. [2,5,11]

## 1.2 Zhodnocení technologičnosti

V tabulce 1.1 jsou uvedeny parametry dosažitelné zvolenou technologií přesného stříhání v porovnání s parametry od součásti požadovanými.

Tab. 1.1 Porovnání teoret. parametrů přesného stříhání s parametry vyráběné součásti

Parametr	Dosažitelné hodnoty	Požadované hodnoty
Min. poloměr rohů a hran	0,4 mm (pro $t = 3 \text{ mm}$ )	1,5 mm
Minimální průměr otvoru	2,8 mm (pro $t = 3 \text{ mm}$ )	3 mm
Minimální šířka drážky	2,8 mm (pro $t = 3 \text{ mm}$ )	4 mm
Minimální vzdálenost mezi otvorem a drážkou	1,5 mm (pro $t = 3 \text{ mm}$ )	6 mm
Minimální vzdálenost mezi otvorem a hranou	1,7 mm (pro $t = 3 \text{ mm}$ )	2 mm
Max. tloušťka stříhaného materiálu	20 mm	3 mm
Stupeň přesnosti	IT6 až IT9	IT7
Drsnost povrchu	$R_a = 0,4 \text{ až } 1,6 \text{ } \mu\text{m}$	$R_a = 0,8 \text{ } \mu\text{m}$

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že všechny požadované parametry vyráběné součásti jsou technologií přesného stříhání bez problémů vyrobitelné.

Je zde také ekonomické hledisko pro použití přesného stříhání a to minimální výrobní série 40 000 ks součástí za rok. Jelikož je požadovaná série 75000 ks/rok, i toto hledisko je splněno.

Pokud jde o materiál 11 320.21, ze kterého má být součást vyrobena, je to ocel obvyklých jakostí k tažení a tváření za studena válcovaný za tepla s maximálním obsahem uhlíku 0,11%, síry a fosforu 0,045%. Jeho mez pevnosti nepřesahuje hodnotu 390 MPa, mez kluzu minimálně 310 MPa a tažnost  $A_{10}$  minimálně 28%. Dle přílohy 7 je tato ocel velmi vhodná k přesnému stříhání.

Můžeme tedy konstatovat, že zadaná součást „Táhlo zadní“ je danou technologií přesného stříhání vyrobitelná.

## 2 LITERÁRNÍ STUDIE ZAMĚŘENÁ NA KONVENČNÍ STŘÍHÁNÍ

Do strojírenských podniků se z hutí dodávají kovové i nekovové materiály v nejrůznější formě. Mohou to být tabule, svitky, pásy, tyče, profily různých tvarů aj. Jejich další zpracování se většinou s ohledem na produktivitu, přesnost, konvenčnost vlastní výrobní technologie provádí stříháním (dělením) těchto polotovarů, která patří i nadále k historicky se vyvíjející dosud nepřekonatelnou technologii z hlediska již známé teorie o chování materiálu při střížném procesu a propracovanou stavební konstrukci (mnohdy modulově uspořádanou) střížných nástrojů. Tato technologie je v současnosti preferována zejména z důvodů úspory času a vlastních nákladů na výrobní proces.

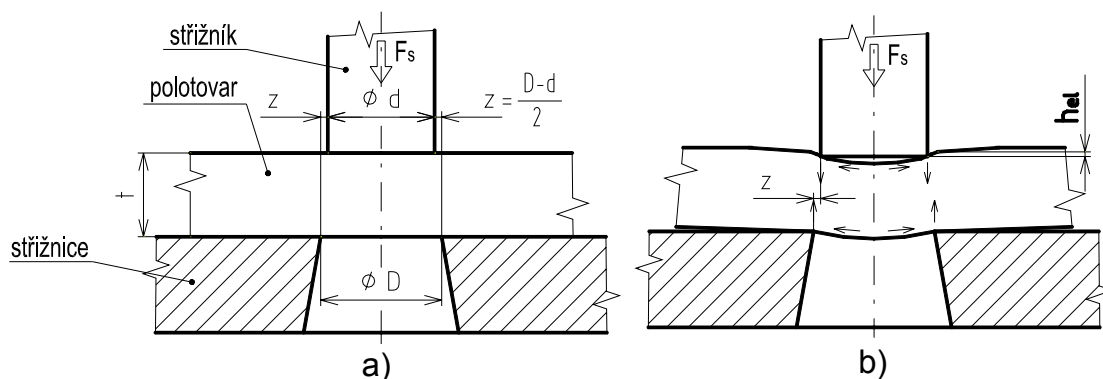
Dělení kovů, je technologickou operací, která je zastoupena v každém strojírenském podniku. Je zakončena porušením stříhaného materiálu, tzn. vznikem lomu v ohnisku plastické deformace, který je přímo úměrný inicializovanému podnětu kumulovaného napětí v závislosti na jeho zkřehnutí.

### 2.1 Střížný proces

Kovové materiály se oddělují postupně nebo současně podél křivky stříhu vytvořené relativním pohybem dvou břitů, které vyvolávají nutné střížné – smykové napětí. K plastické deformaci a křehkému lomu dochází při dosažení jeho maximální hodnoty, přičemž její vznik je podporován primárním mechanismem pohybu vad v materiálu a to většinou pohybem vhodných dislokací a atomů do vhodných prostor umístěných v mřížce kovu. Nárůst tohoto napětí způsobuje sekundární posunutí a přetvoření jednotlivých objemových elementů v rovinách smykového napětí mřížky ( $\pi/4$ ). Následně dojde k dosažení terciární křehkosti materiálu a s nárůstem jeho napětí nad mez pevnosti ve stříhu  $\tau_s$ , které je nižší než mez pevnosti v tahu  $R_m$ , materiál projde procesem kumulací napětí, zkřehnutí, která způsobí neřízený lom funkčně závislý na hodnotě velikosti snižující se střížné síly. [16]

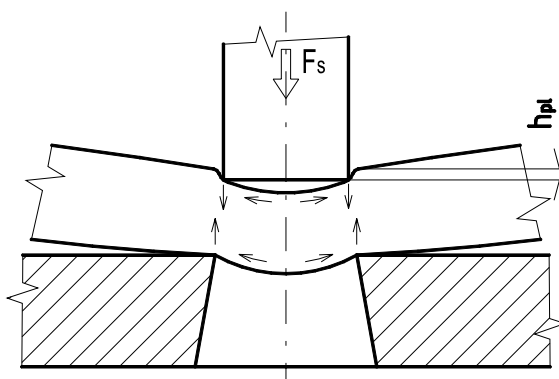
Samotný průběh stříhání lze vysvětlit na příkladu geometrického modelu prostříhování s uzavřenou křivkou stříhu danou obvodem střížníku a střížnice. Po dosazení střížníku na polotovar (obr. 2.1a) lze samotný průběh stříhání rozdělit do tří fází.

V první fázi, která končí dosažením meze kluzu  $R_e$ , ihned po dosednutí střížníku na polotovar se v materiálu začne zvyšovat napětí, které ještě nedosahuje meze kluzu materiálu, a tedy toto napětí se projeví pružnou deformací. Střížník přitom vnikne do hloubky povrchu materiálu, která závisí na mechanických vlastnostech materiálu. Tato hloubka dosahuje 5 až 8 % tloušťky materiálu. Dvojice sil mezi hranami střížníku a střížnice způsobuje také ohyb, tzn. deformaci stříhaného materiálu, na straně střížníku vzniká vydutí, na straně střížnice vytlačení materiálu (obr. 2.1b).



Obr. 2.1 Dosednutí střížníku a první fáze stříhání [6]

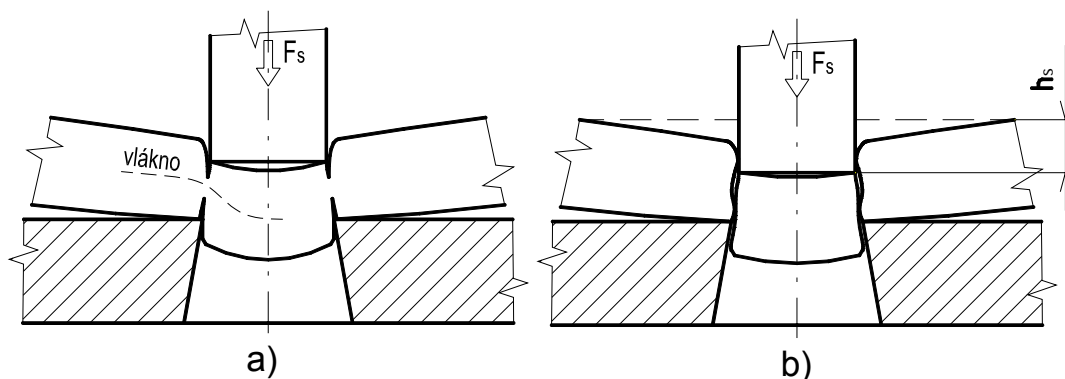
Ve druhé fázi po dalším zvyšování střížné síly  $F_s$  přesáhne napětí v materiálu jeho mez kluzu  $R_e$ , a tedy dojde k trvalé deformaci. Hloubka plastického vniku střížníku do materiálu  $h_{pl}$  opět závisí na druhu materiálu a jeho mechanických vlastnostech a činí 10 až 25 % tloušťky materiálu (obr. 2.2).



Obr. 2.2 Druhá fáze stříhání [6]

V poslední třetí fázi stříhání dosáhne napětí v materiálu meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$ . Nejprve dochází k tzv. nástřihu, tj. vytvoření trhlinek a jejich šíření podporuje tahové normální napětí ve směru vláken (obr. 2.3a). Trhliny se rychle šíří dál až dochází k oddělení výstřížku (obr. 2.3b). Rychlost jejich

iniciace a šíření je závislá mimo jiné i na velikosti střížné vůle ( $v = 2z$ ). Tvrdý a křehký kovový materiál se oddělí rychle při velmi malé hloubce vniknutí střížných hran  $h_s$ , která činí cca 10% tloušťky materiálu. U měkkých a houževnatých materiálů je průběh vzniku a šíření trhlin pomalejší a tedy hloubka vniknutí střížných hran v okamžiku oddělení bývá až 60% tloušťky materiálu. [5,6,8,9]



Obr. 2.3 Třetí fáze stříhání [6]

## 2.2 Střížný proces jako rovinný stav napjatosti a přetvoření

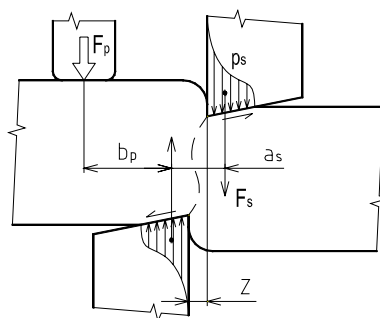
Aby došlo k překonání soudržnosti stříhaného polotovaru, musí přirozený přetvárný odpor dosáhnout meze pevnosti materiálu  $R_m$  a hlavní napětí  $\sigma_1$  [6] dosáhne meze pevnosti ve stříhu:

$$\sigma_1 = 0,8 \cdot R_m = \tau_s \quad (2.1)$$

„Většina literárních podkladů uvádí, že pevnost ve stříhu je  $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ , což odpovídá výše uvedeným předpokladům,  $\tau_s$  je zároveň deformačním odporem ve stříhu (nazývaný též střížným odporem) a zahrnuje vliv mechanických vlastností stříhaného materiálu a tvaru střížné plochy (více kapitola 1.5). Obecně se uvádí, že  $\tau_s = (0,55 \text{ až } 0,90) \cdot R_m$  podle stříhaného plechu“ [6].

## 2.3 Rozbor stavu napjatosti při volném a uzavřeném stříhání

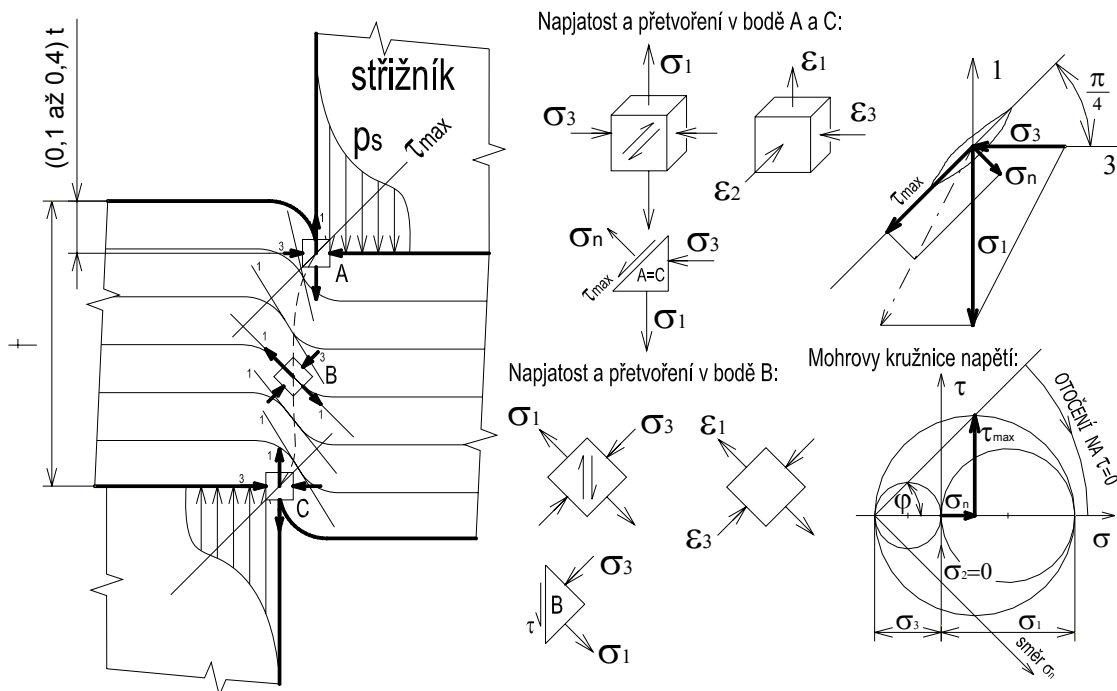
Při volném stříhání (obr. 2.4) vzniká jednak dvojice sil na rameni  $a_s$  a také přidržovací síla  $F_p$  na rameni  $b_p$ . Tato dvojice sil musí být v momentové rovnováze se silou  $F_p$ , jelikož bez síly  $F_p$  může při velkých střížných mezerách dojít k přetočení a vklínění plechu mezi střížné nože. [6]



Obr. 2.4 Schéma volného stříhání [6]

„Při uzavřeném vystřihování a děrování (obrys nože tvoří uzavřenou čáru) je ohybový moment navenek vyvážen, ale může způsobit nežádoucí trvalé přetvoření v pružně svírané střížné ploše při protlačení výstřížku.

Materiál mezi střížnými hranami je současně natahován a vytlačován do stran a tím uvolňuje místo vnikajícím břitům. Podélné vrstvy, znázorněné například vrstevnicemi (obr. 2.5), se prodlužují, výrazně mění křivost a zároveň se mezi břity zmenšuje tloušťka plechu.



Obr. 2.5 Schéma napjatosti a přetvoření při běžném uzavřeném stříhání [6]

V bodě A těsně u střížné hrany je největší tahové hlavní napětí  $\sigma_1$  definované vztahem (2.1). Tlakové hlavní napětí je dle praktických zkoušek přibližně rovno polovině  $\sigma_1$ , tedy platí, že  $\sigma_3 = -\frac{\sigma_1}{2}$  a v prvním přiblížení budou platit následující zákonitosti: [6]

$$\sigma_1 = |-(2 \times \sigma_3)|$$

$$\tau_{\max} = \left| \frac{-(2 \times \sigma_3) - \sigma_3}{2} \right| = \frac{3}{2} \sigma_3 \quad \text{tedy}$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{3}{2} \sigma_3 \quad (2.2)$$

Při volném stříhání plechů větších tloušťek  $\sigma_2 = 0$  a můžeme uvažovat přibližně rovinný stav napjatosti. Ale protože složka deviátoru napětí  $\sigma_2$  (napětí, které vede ke změně tvaru) je  $D\sigma_2 = \sigma_2 - \sigma_s$  a střední napětí je nenulové (z podmínky izomerie pro normálně-oktaedrické napětí), je v bodě A prostorový stav přetvoření. Z vektorového součtu složek hlavních napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  v bodě A (obr. 2.5) a z Mohrových kružnic napětí je zřejmé, že kolmo na rovinu maximálního smykového napětí působí kladná normální složka  $\sigma_n$ , která se při šíření trhlin po nástřihu velkou měrou podílí na jejich rozevírání. Protože vlivem změny orientace křivosti vrstevnic plechu směrem od střižné hrany do středu dochází i ke změně orientace tedy natáčení roviny  $\tau_{\max}$ , vytváří střižná plocha typickou esovitou křivku.

Poměr hlavních napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  směrem do středu střižné plochy se mění a právě uprostřed v bodě B platí, že  $\sigma_1 = |-\sigma_3|$  a jsou splněny podmínky prostého smyku, kde  $\sigma_n = 0$  [6].

## 2.4 Kvalita a tvar střižné plochy

Ve tváření je plastické přetvoření při stříhání sice průvodním jevem, ale v tomto případě nežádoucím.

Kvalita střižné plochy závisí zejména na těchto faktorech:

- nejdůležitějším faktorem je velikost střižné mezery, jelikož vzniklé trhliny v materiálu se při stříhu musí setkat (viz kap 2.6),
- mechanické vlastnosti stříhaného materiálu, s jeho stoupající tvrdostí se zhoršuje jakost povrchu vystřižené plochy, jelikož pásmo plastického zatlačení je minimální a převažuje křehký lom,
- kvalita střižného nástroje tzn. stav střižných hran, drsnost povrchu pracovních částí stříhadla při stříhání materiálu do  $t = 1$  mm se doporučuje v rozmezí  $R_a = 0,8$  až  $0,4$ , pro materiály o  $t > 1$  mm v rozmezí  $R_a = 3,2$  až  $1,6$ ,

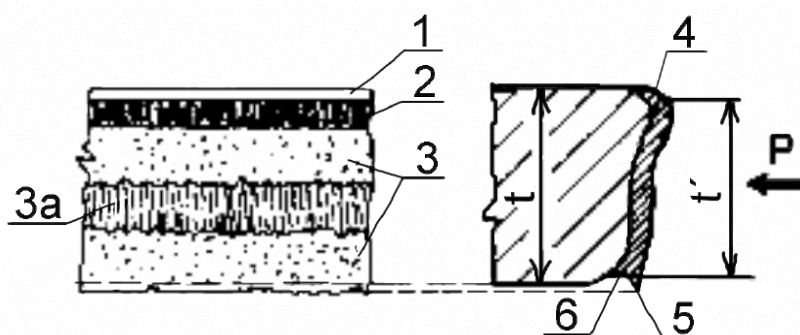


- d) počet zdvihů lisu, u materiálu do  $t = 1 \text{ mm}$  se dosahuje u rychloběžných lisů lepší jakosti povrchu střížné plochy,
- e) stav napjatosti,
- f) způsob stříhání, aj.

Zkouškami bylo zjištěno, že drsnost povrchu střížné plochy při konvenčním stříhání je při vystřihování v rozmezí  $R_a = 6,3$  až  $3,2$  a při ostříhování a děrování v rozmezí  $R_a = 2,5$  až  $6,3$ .

Přesnosti u konvenčního stříhání se dosahuje IT14, IT15, IT16 (nižší přesnost), ale běžně lze docílit střední přesnosti IT11, IT12. [2,5,8,9]

Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli schématicky znázorňuje obr. 2.6, na kterém jsou zřetelné charakteristické pásma. Pásmo **1** je zeslabení tloušťky materiálu vlivem horního břitu. Čím je materiál tvárnější, tím větší je tato oblast. Pásmo **2** znázorňuje plastické zatlačení nože do materiálu a jeho velikost závisí na plastičnosti stříhaného materiálu, obvykle bývá  $(0,1 \text{ až } 0,4) \cdot t$ . Pásmo **3** je vlastní lom materiálu, který u křehkého materiálu je výraznější než u materiálu tvárného. Pásmo **3a** označuje oblast otěru, jenž vzniká třením charakteristického esovitého tvaru lomu materiálu s funkční částí nástroje. Při stříhání dochází kolem čáry stříhu ke zpevnění materiálu **4**. V tomto místě se stříhaný materiál trvale deformuje, snižuje se tvárnost a zvyšuje se tvrdost. Hloubka zpevněné vrstvy závisí na tloušťce materiálu, jeho mechanických vlastnostech velikosti střížné mezery a stavu břitů funkčních částí. Zpevnění lze odstranit vyžítáním materiálu nebo obrobením zpevněné vrstvy. Čím je materiál tvárnější a nůž tupější, tím se při stříhání na spodní hraně výstřížku tvoří větší otřep **5**. Také dochází ke vtisku dolního břitu **6** a to tím větší, čím je jeho úhel čela větší. [2,3]



Obr. 2.6 Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli [6]

## 2.5 Střížný odpor

Střížný odpor  $\tau_s$  je schopnost stříhaného materiálu bránit se vůči svému porušení. Obecně lze stanovit ze vzorce [9]:

$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s} \quad (2.3)$$

kde:  $F_s$  – střížná síla [N]

$S_s$  – plocha stříhu [mm<sup>2</sup>]

Střížný odpor je především závislý na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. S rostoucí pevností a s klesající tvárností jeho hodnota roste. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu do okamžiku vytvoření nástřihu  $h_s$  je vhodným ukazatelem jeho tvárnosti. Obecně je hodnota  $h_s$  u tvrdých materiálů menší než u materiálů měkkých, ale také tato hodnota je závislá na tloušťce materiálu. Se zmenšováním tloušťky materiálu se poměrná hodnota hloubky vniku  $h_s/t$  zvětšuje. Střížný odpor dále závisí na tvaru rozměru křivky stříhu, velikosti střížné vůle, konstrukci nástroje a podmínkách stříhání, jako je např. mazání a s tím související tření stříhaného materiálu s funkčními částmi nástroje. [9]

## 2.6 Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem otvoru ve střížnici a do ní vnikajícího střížníku. Je jedním z nejpodstatnějších faktorů, jenž ovlivňuje jakost střížné plochy, trvanlivost nástroje a velikost střížné síly.

Při stříhání s normální vůlí se trhliny v okamžiku stříhu setkají, čímž je zaručeno správné usmýknutí stříhané plochy (obr. 2.3). Nástřih při malé i velké střížné vůli (obr. 2.7) způsobuje rozšíření pásma otěru na větší část střížné plochy. Tedy při nesprávné velikosti střížné vůle může dojít k vytvoření zátrhu nebo třísky, jenž by se mohla dostat do prostoru pohybujících se částí nástroje a způsobit zhoršení kvality procesu stříhání.

Numerické stanovení střížné vůle, resp. střížné mezery, bývá v praxi často obtížné. Po jejím numerickém stanovení se před samotným započítáním sériové výroby nové součásti musí praktickými zkouškami optimalizovat její hodnota, aby výsledná jakost střížné plochy byla co nejlepší. [2,5]

Všeobecně máme čtyři možnosti jak stanovit střížnou vůli:

1. z diagramu pro stanovení střížné vůle (viz příloha 5),
2. odhadem 5 až 10% (u přesného stříhání 0,5%) tloušťky stříhaného materiálu,
3. pomocí empirických vzorců (2.4, 2.5),
4. výše zmíněnými praktickými zkouškami.

Velikost střížné vůle [27] pro plechy o tloušťce do 3 mm můžeme stanovit dle normy ČSN 22 6015:

$$\begin{aligned}
 v &= 2 \cdot z \\
 v &= 2 \cdot (c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s}) \\
 v &= 2 \cdot \left( c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\frac{F_s}{S_s}} \right)
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Pro střížnou vůli [20] plechů o  $t > 3$  mm platí vztah:

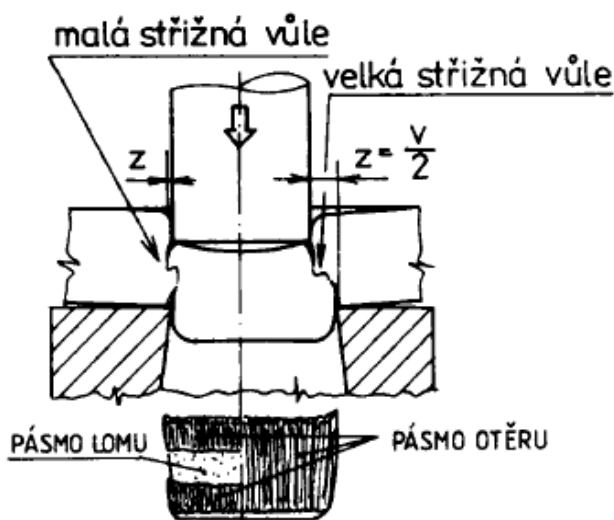
$$\begin{aligned}
 v &= 2 \cdot z \\
 v &= 2 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \\
 v &= 2 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\frac{F_s}{S_s}}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

kde:  $t$  – tloušťka plechu

$v$  – střížná vůle [mm]

$z$  – střížná mezera [mm]

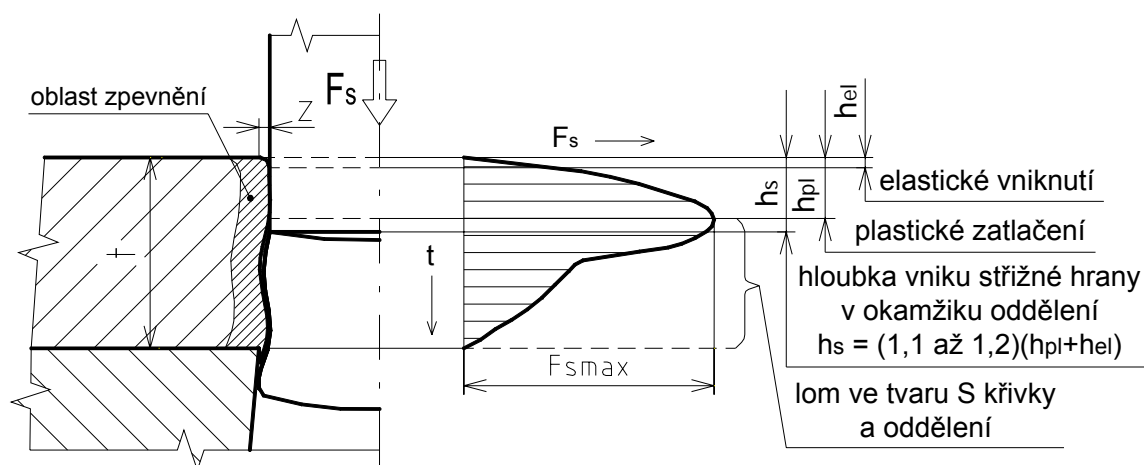
$c$  – koefic. závislý na druhu stříhání, jeho hodnota se pohybuje v rozmezí 0,005 až 0,035 pro konveční stříhání, pro přesné stříhání  $c = 7 \cdot 10^{-4}$



Obr. 2.7 Schéma stříhání při malé a velké střížné vůli [6]

## 2.7 Střížná síla a střížná práce

Typický průběh střížné síly v závislosti na hloubce vniknutí střížníku během operace stříhání je na obr. 2.8. Nejprve dochází po krátké dráze k pružnému vnikání břitu, tzn. pěchování stříhaného materiálu. Poté nastává plastické přetvoření, a i když se střížná plocha stále zmenšuje v důsledku lokálního zpevnění materiálu (zasahuje do 20 až 30% tloušťky materiálu), tedy růstu jeho odporu ve stříhu, dochází k plynulému nárůstu síly až do jejího maxima. Po vzniku prvních trhlin nastává ještě mírný a plynulý pokles síly až po hloubku vniknutí  $h_s$ , kdy dojde k úplnému porušení lomem ve tvaru S křivky a k následnému oddělování výstřížku s výrazným poklesem síly. Velikost gradientu poklesu střížné síly závisí na druhu materiálu a velikosti střížné vůle. Lokální snížení tohoto výrazného gradientu je zapříčiněno vzájemným otěrem vytvořených ploch. [6,8]



Obr. 2.8 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly [6]

### 2.7.1 Výpočet celkové střížné síly $F_c$

Pro vystřihování a děrování se výpočet celkové střížné síly [5] skládá ze součtu tří sil a to střížné síly  $F_s$ , stírací síly  $F_{st}$  a protlačovací síly  $F_{pr}$ :

$$F_c = F_s + F_{st} + F_{pr} \quad (2.6)$$

Výpočet střížné síly  $F_s$  [5]:

$$F_s = k_1 \cdot S_s \cdot \tau_s = k_1 \cdot l_s \cdot t \cdot \tau_s \quad (2.7)$$

kde:  $k_1$  – součinitel otupení (1,1 až 1,3) [-]

$l_s$  – obvod stříhu [mm]

$\tau_s$  – pevnost ve stříhu [MPa]

Výpočet stírací síly  $F_{st}$ :

Tato síla představuje při vystřihování a děrování ulpívání stříhaného materiálu díky své pružnosti na vnějších plochách střížníku. Velikost koeficientu  $c_1$  je závislá na počtu střížníků a jejich složitosti tvaru, druhu a tloušťce materiálu, velikosti střížné vůle, podmínkách stříhání (mazání).

Stírací síla [5] je dána vztahem:

$$F_{st} = c_1 \cdot F_s \quad (2.8)$$

kde:  $c_1$  – součinitel stírání [-] (hodnoty součinitele stírání viz tab.1)

Výpočet protlačovací síly  $F_{pr}$ :

Tato síla má podobný charakter a je závislá na stejných faktorech jako výše uvedená stírací síla.

Protlačovací síla [5] je dána vztahem:

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_s \quad (2.9)$$

kde:  $c_2$  – součinitel protlačení [-] (hodnoty součinitele protlačení viz tab. 2.1)

Tab. 2.1 Hodnoty součinitelů  $c_1$  a  $c_2$  [5]

Druh materiálu a jeho tloušťka	$c_1$	$c_2$
Ocel do 1 mm	0,02 až 0,12	0,05
1 až 5 mm	0,06 až 0,16	až
nad 5 mm	0,08 až 0,20	0,08
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny Al	0,09	0,02 až 0,04

### 2.7.2 Výpočet střížné práce $A_s$

Při stříhu rovnými střížnými hranami je střížná práce  $A_s$  definována plochou pod křivkou střížné síly (obr. 2.8).

Střížná práce [9] se obecně stanoví ze vzorce:

$$A_s = k_2 \cdot F_s \cdot t \quad (2.10)$$

kde:  $k_2$  – koefic. závislý na tloušťce, druhu a pevnosti materiálu (0,4 až 0,7) [-]

### 3 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ

Pod pojmem technologie přesného střihání se rozumí souhrn metod střihání plechů a pruhů ve střihadlech, jimiž lze dosáhnout kvalitní a hladké střížné plochy, jejíž drsnost povrchu dosahuje  $R_a = 0,4$  až  $1,6 \mu\text{m}$ . Kolmost střížné plochy k rovině plechu do tl. 4 mm je v rozmezí 0,01 až 0,02 mm a rozměrové přesnosti vyrobených součástí v rozmezí IT6 až IT9. (většinou platí: stupeň přesnosti IT6 pro tloušťku plechu 0,5 až 1 mm, stupeň přesnosti IT9 pro tloušťku nad 6 mm). Všechny tyto znaky spočívají ve způsobu rozšíření pásma plastického střihu na celou tloušťku stříhaného materiálu. Toho lze dosáhnout vytvořením trojosého stavu napjatosti nebo lze použít metodu, jež spočívá v dodatečném přistřižení malého množství konce ze střížné plochy.

Existují také ekonomická hlediska pro použití přesného střihání a to minimální výrobní série 40 000 ks součástí za rok. Tato technologie se vyplatí většinou pro součásti, které mají velké procento odpadu a vyžadují mnoho dokončovacích operací jako např. vystružování, broušení, protahování aj. [3,4,8,15]

#### 3.1 Porovnání konvenčního a přesného střihání

Klasický způsob střihání má řadu nedostatků s ohledem na kvalitu výstřižků, z nichž hlavní jsou zaoblení hran podél stříhaného obvodu, deformace výlisku, nekvalitní střížná plocha se širokým pásmem utržení, kde nelze zajistit dokonalou kolmost střížných ploch a nízkou drsnost povrchu.

Uvedené nedostatky v kvalitě střížné plochy získané klasickým střiháním odstraňuje technologie tzv. přesného střihání. Porovnání vzhledu střížné plochy při střihání oběma metodami je zřejmé na obr. 3.1. Technologie přesného střihání využívá sloučených střihadel, kdy se současně vystřihuje vnější i vnitřní tvar součástí. Při konvenčním střihání dochází vlivem plastické deformace materiálu k tvorbě trhlin v oblasti střihu. Tomuto jevu se zamezí vhodnou konstrukcí nástroje se spolupůsobením lisu a volbou vhodného materiálu pro přesné střihání s dostatečnou tvárností. Střihadla pro přesné střihání mají minimální střížnou mezeru. Při střihání je materiál zejména na vnějším obvodu

sevřen po obou stranách stříhu tím, že je kolem křivky stříhu nátláčná hrana vtlačena do materiálu. [8,15]



Obr. 3.1 Porovnání střížné plochy [17]

### 3.2 Metody pro zlepšení kvality střížné plochy

Rozeznáváme tyto základní metody pro zlepšení kvality střížné plochy:

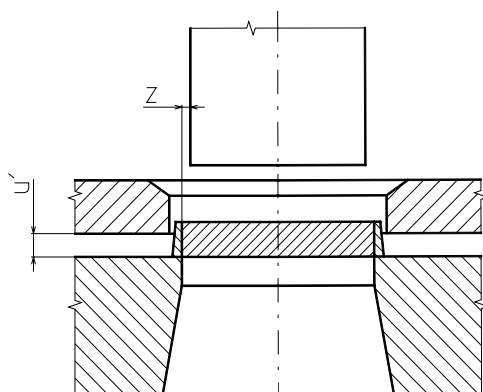
- 1) přistříhování (kap. 3.2.1),
- 2) kalibrování (kap. 3.2.2),
- 3) stříhání se zaoblenou střížnou hranou (kap. 3.2.3),
- 4) stříhání se zkoseným přidržovačem (kap. 3.2.4),
- 5) přesné stříhání s tlačnou (nátláčnou) hranou (kap. 3.2.5).

#### 3.2.1 Přistříhování

Princip technologie přistříhování spočívá v oddělování malého množství kovu (třísky) ze střížné plochy s cílem dosáhnout větší přesnosti a kvality povrchu střížné plochy bez mikrotrhlinek, zpevnění a vnitřních pnutí. Je to v lisovací technice jediná technologie, při které se odděluje tříska. Mnohdy jde o odstřížení nerovností ploch obráběných, tvářených, případně litých. Obvykle se používá jedna přistříhovací operace, výjimečně u tlustších plechů i více operací. Přípustná tloušťka odděleného kovu je 0,1 až 0,5 mm. Dosahovaná přesnost součásti je IT6 až IT9, drsnost povrchu bývá  $R_a = 0,8$  až  $1,6 \mu\text{m}$  a úkos 0,02 mm/10 mm. [4]

**Přistřihování vnějších otvorů s kladnou vůlí**

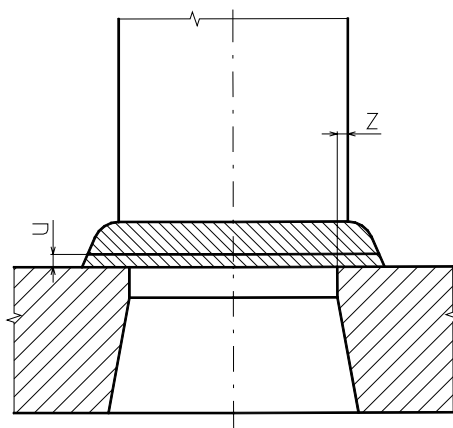
Deska se zakládací dutinou slouží ke středění výstřižku. Mezi zakládací deskou a střížnicí musí být určitá vzdálenost  $u'$ , aby třísky mohly do tohoto prostoru odcházet. Střížnice má rozměry budoucího výstřižku, v horní části má fazetku o výšce 6 až 8 mm, pak je kuželovitě rozšířena (obr. 3.2). [4]



Obr. 3.2 Přistřihování vnějších otvorů s kladnou vůlí [4]

**Přistřihování vnějších otvorů se zápornou vůlí**

Rozměr střížníku bývá o 0,1 až 0,5 mm větší než rozměr střížnice. V konečné fázi stříhu čelo nástroje podpírá oddělovaný materiál a tím znesnadňuje předčasné vytržení materiálu. Při přistřihování nesmí střížník dosednout na střížnici. Mezera mezi čelem střížníku a břity střížnice v dolní úvrati bývá 1 až 2,5 násobek tloušťky přídavku na přistřižení, minimálně však  $u = 0,2$  až  $0,4$  mm. Přistřižení je z výše uvedeného důvodu provedeno jen částečně a dokončí se až při přistřihování dalšího výstřižku, který předchodí výstřižek do střížnice protlačí (obr. 3.3). [2,4]

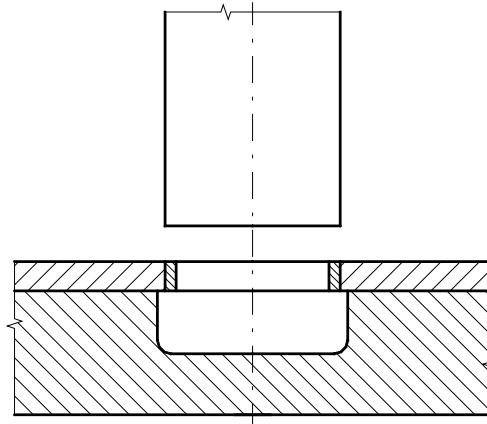


Obr. 3.3 Přistřihování vnějších otvorů se zápornou vůlí [4]



**Přistřihování vnitřních otvorů**

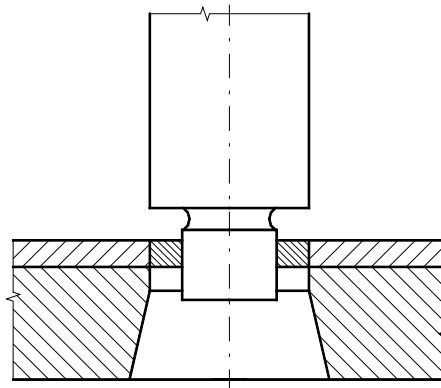
Tato technologie se provádí u otvorů děrovaných, případně vrtaných apod. (obr. 3.4).



Obr. 3.4 Přistřihování vnitřních otvorů [4]

**Kombinace stříhání otvorů s přistřihováním**

Tato technologie využívá kombinace osazeného střížníku, který nejprve otvor vystříhne a následně dojde k jeho přistřižení (obr. 3.5).



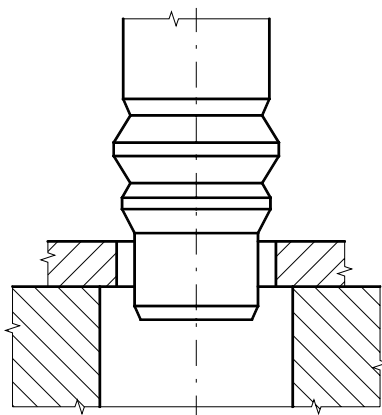
Obr. 3.5 Kombinace stříhání otvorů s přistřihováním [4]

**3.2.2 Kalibrování**

Kalibrováním lze dosáhnout kvalitních výstřižků, které mají přesné rozměry. Kalibrování je možné provádět na vnějším obrysu výstřižku, ale i v otvoru.

**Kalibrování otvorů**

Kalibrovací trn má jednu nebo více ploch o šířce 1 až 3 mm, jejich náběh a výběh je zkosen pod úhlem  $5^\circ$ . Dále má kalibrovací trn zaváděcí i výstupní část, (obr. 3.6). Nejlepších výsledků kvality otvoru se při kalibrování otvorů dosáhne, je-li otvor umístěn v dostatečné vzdálenosti od okraje plechu. Povrch kalibrované plochy je zpevněn a okraje otvorů jsou nepatrně rozšířeny. [4]

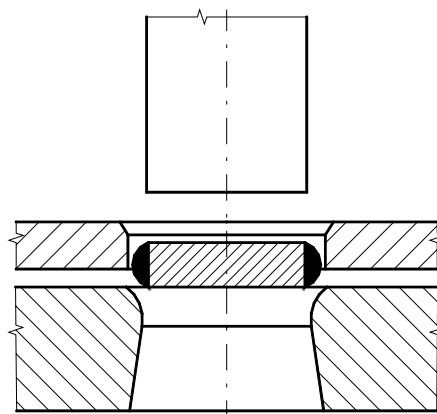


Obr. 3.6 Kalibrování otvoru [4]

**Kalibrování vnějších tvarů**

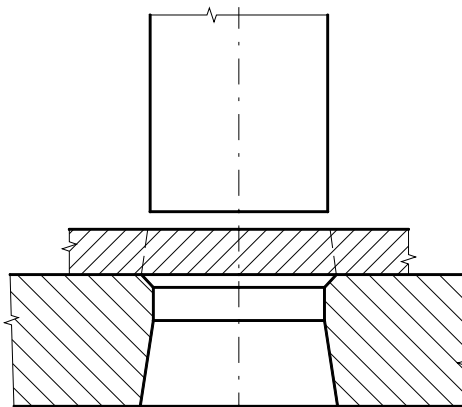
U vnějších tvarů je postup kalibrování takový, že střížník protlačí výstřižek přes střížnici, která má zaoblené hrany (obr. 3.7). Přídavky na kalibrování se pohybují v rozmezí 0,15 až 0,4 mm.

Kalibrování v porovnání s přistřihováním je méně přesné vlivem odpružení výstřižku a protlačení přes střížnici (odpružení bývá 0,02 až 0,06 % příslušného rozměru). Je potřeba také větší síla než na přistřihování. Povrch kalibrované plochy je zpevněn a okraje otvorů jsou nepatrně rozšířeny.



Obr. 3.7 Kalibrování vnějšího obrysu [4]

Součásti z barevných a lehkých kovů nebo jejich slitin je možno kalibrovat také tak, že střížník má větší rozměry než střížnice (záporná vůle) a hrana střížnice je ostrá (obr. 3.8). Přesah střížníku bývá asi 0,1 až 0,5 mm. Je však nutno nastavit spodní polohu střížníku asi 0,2 až 0,4 mm nad střížnicí. [4]



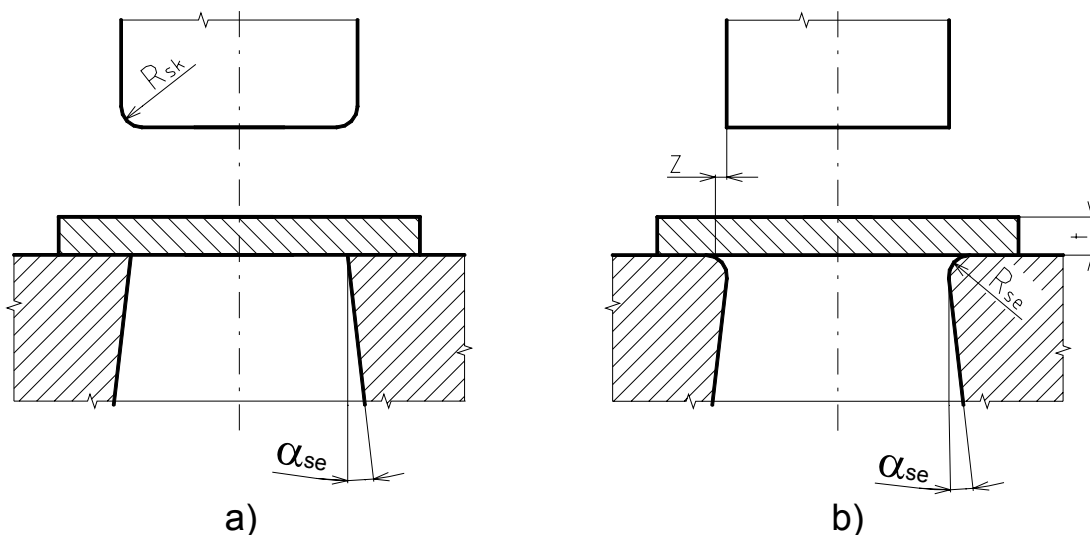
Obr. 3.8 Kalibrování vnějšího obrysu u barevných kovů [4]

### 3.2.3 Stříhání (vystřihování) se zaoblenou střížnou hranou

U tohoto způsobu stříhání ovlivňujeme střížnou plochu zaoblením břitu střížníku (obr. 3.9a) nebo střížnice (obr. 3.9b). Zaoblené hrany střížnice způsobí vysokou hladkost vnějšího obrysu, zaoblené hrany střížníku hladkost vnitřního obrysu, protože materiál je při stříhu částečně dopředně protlačován. Velikost poloměru tohoto zaoblení a střížná vůle zásadně ovlivňuje kvalitu střížné plochy, ale neplatí čím větší poloměr zaoblení, tím lepší kvalita povrchu. Vliv zaoblení na jakost střížné plochy je tím větší, čím menší je mezera ( $z$ ). Doporučuje se zaoblení střížné hrany poloměrem  $R_{se(sk)} = (0,15 \text{ až } 0,20) \cdot t$ . V případě tvarově složitějších součástí s ostrými přechody se volí  $R_{se(sk)} = 0,25 \cdot t$  a střížná mezera  $z = (0,01 \text{ až } 0,02) \text{ mm}$ .

Uvedený způsob přesného stříhání je vhodný pro materiály dobře tvařitelné. Vhodné jsou měkké oceli, mosaz, hliník a jeho slitiny. Výška otřepu na střížné hraně je přibližně stejná jako u běžného stříhání. Přesnost výstřížků bývá IT 9 až IT 11, drsnost povrchu  $R_a = 0,4 \text{ až } 0,8 \text{ } \mu\text{m}$ . Po průchodu střížnicí se výstřížek vlivem pružné deformace zvětší. Střížná síla je asi o 15 % větší než při běžném stříhání, tudíž nástroj musí dokonale zajišťovat vzájemnou

polohu střížníku a střížnice. Velikost zaoblení hran nemá vliv na velikost střížné síly ani na nepatrnou kuželovitost výstřížku. [2,4]

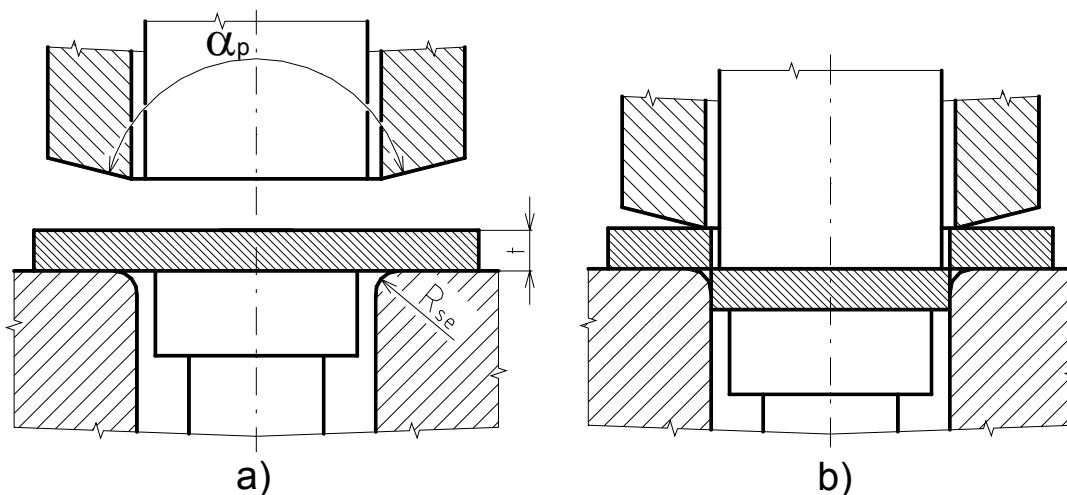


Obr. 3.9 Přesné stříhání se zaoblenými střížnými hranami [4]

a) děrování, b) vystřihování

### 3.2.4 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem

Uvedený způsob technologie přesného stříhání se zkoseným přidržovačem (obr. 3.10) je poměrně málo používaný. Zkosený přidržovač vyvozuje při stříhání dvojosý stav napjatosti. Vrcholový úhel přidržovače bývá  $\alpha_p = 178^\circ 30'$ . Poloměr zaoblení na střížné hraně bývá  $R_{se} \leq 0,01$  mm. [2,4]



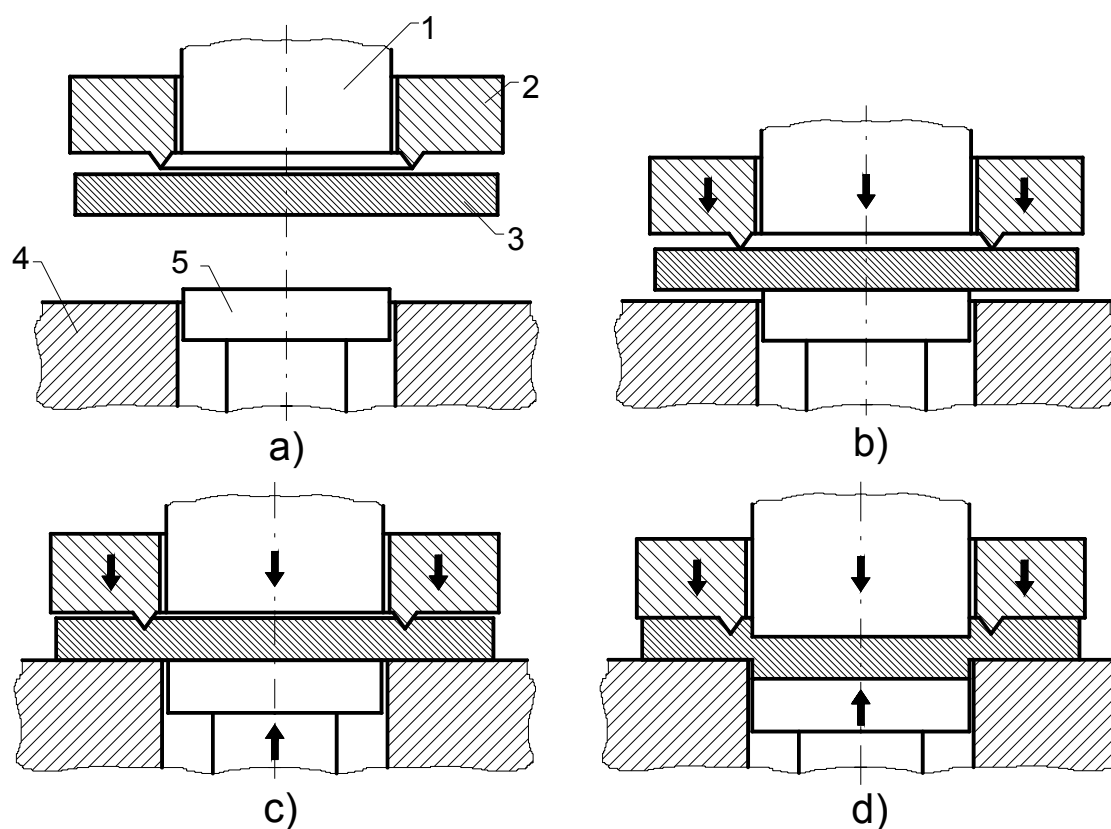
Obr. 3.10 Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem [2]

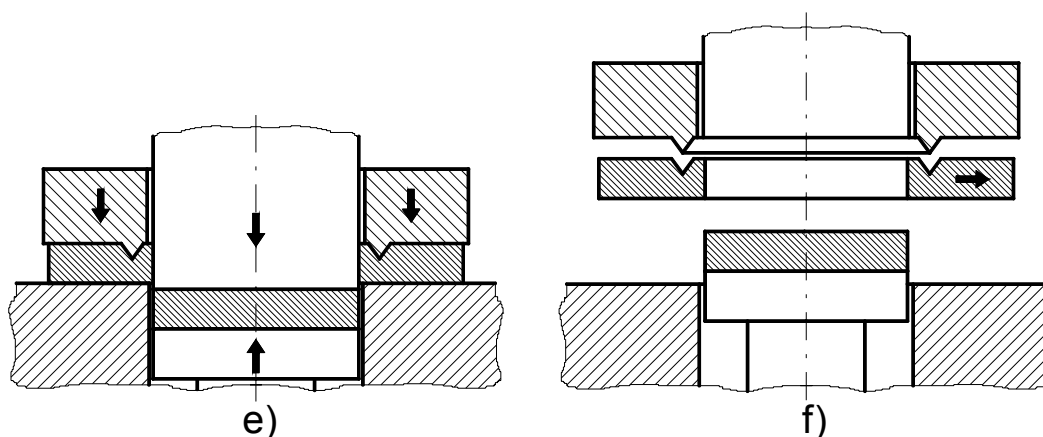
a) výchozí poloha, b) konečná poloha,

### 3.2.5 Přesné stříhání s tlačnou hranou

Princip přesného stříhání s tlačnou hranou je založen na úvahách, které vycházejí z následujících předpokladů. Chceme ovlivnit „tečení“ a utržení materiálu v průběhu stříhu tak, aby probíhalo na určitém místě a ne tam, kde se materiál vlivem nepříznivého stavu napjatosti sám odděluje. V oblasti stříhu je proto potřeba vytvořit stav trojosé tlakové napjatosti.

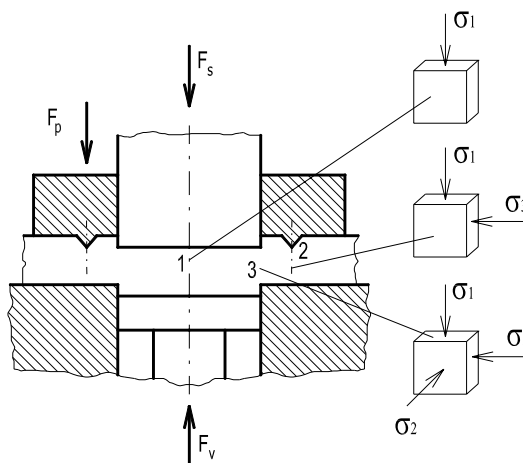
Obr. 3.11 schématicky znázorňuje postup přesného stříhání s tlačnou hranou. Stříhaný materiál **3** je v počáteční fázi stříhání sevřen mezi přidržovač **5** a střížnicí **4**. Tím je tlačná hrana na přidržovači **2** vtlačena mimo křivku stříhu do plechu ještě před započítím vlastního stříhu střížníkem **1**. Poloha tlačné hrany je tedy volena mimo křivku stříhu, uvnitř je materiál sevřen mezi střížníkem a vyhazovačem, na což je zapotřebí velkých sil. Na vyhazovač působí síla směřující proti pohybu střížníku. Střížná mezera mezi střížníkem a střížnicí je prakticky nulová. [2,8]





Obr. 3.11 Postup přesného stříhání s tlačnou hranou [8]

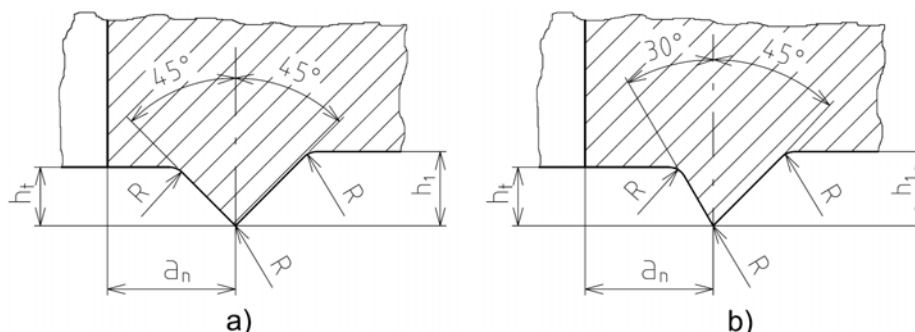
Nejvýhodnější rozložení hlavních napětí  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  je právě v oblasti stříhu, kde vzniká trojosá napjatost. Materiál se při vystřihování neprohne, přičemž radiální složka pružení, která vznikne jako následek pružné deformace, je zachycována tlačnou hranou. Tato oblast všestranného tlaku vylučuje pak vznik trhlin a podporuje průběh čistě plastického stříhu přes celou tloušťku materiálu. Všeobecně platí, že se vzrůstem podílu tlakových napětí roste schopnost materiálu plasticky se deformovat a naopak velká tahová napětí porušují soudržnost materiálu a způsobují vznik trhlin. V materiálu vznikají při přesném stříhání tři oblasti s různými schématy napjatosti (obr. 3.12). Zásadní vliv na střížný proces při přesném stříhání má napjatost především v střížné oblasti. Vliv rychlosti deformace a teploty není tak významný. Aby se rázové namáhání nástroje snížilo na minimum, nesmí rychlost deformace překročit mez  $15 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Nízké rychlosti stříhání umožňují, aby se vzniklé teplo z pásu rozptýlilo do okolního materiálu. [2,8]



Obr. 3.12 Schéma napjatosti při přesném stříhání [2]

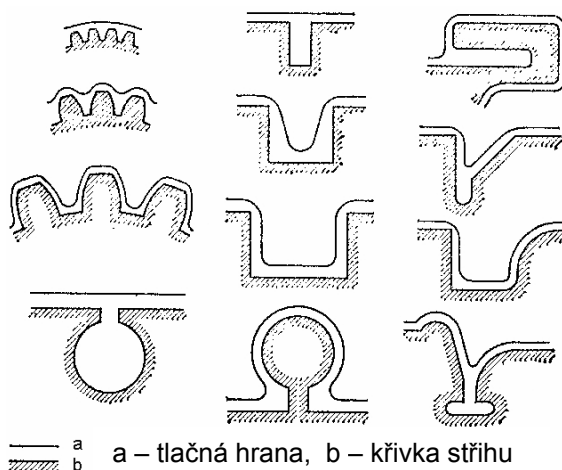


- a) s menší vzdál. tlačné hrany od křivky stříhu můžeme dosáhnout stejného výsledku jako s větší tlačnou hranou ve velkém odstupu od křivky stříhu,
- b) výstupky a části zabíhající dovnitř stříhané součásti se dají snáze přesně stříhat než vyčnívající,
- c) části výstřížku ležící uvnitř (v délce) pásu výchozího materiálu se dají snáze přesně stříhat než části ležící na jeho okrajích (šířce), resp. u můstku.



Obr. 3.14 Tvar a rozměry tlačné hrany [4]

Obecně do  $t = 4$  mm stříhaného plechu se konstruuje jedna tlačná hrana a to na přidržovači, při tloušťce od 3 do 7 mm na přidržovači a částečně podle potřeby i na střížnici a při  $t > 5$  mm stříhaného plechu se volí dvě tlačné hrany na přidržovači i na střížnici. Na obr. 3.15 jsou znázorněny příklady typického průběhu tlačné hrany. Tento průběh se nejjednodušeji navrhuje podle zaoblení výstřížku. V místech, kde je zaoblení velké, musí tlačná hrana kopírovat tvar křivky stříhu. Tam kde je zaoblení malé (zabíhající výstupky nebo hrany), má tlačná hrana kopírovat tvar křivky stříhu ve větší vzdálenosti a u výstřížků jejichž tvar a rozměry by rušily přemísťování materiálu v oblasti stříhu, se tlačná hrana použít nemusí. [4,8]

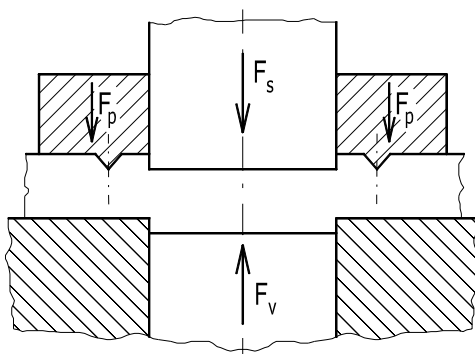


Obr. 3.15 Příklady průběhu tlačné hrany [8]



### 3.3 Síly působící při přesném stříhání

Přesného stříhání se účastní tři síly (obr. 3.16). Střížná síla, která odděluje materiál, síla k zatlačení tlačné hrany a sevření materiálu kolem křivky stříhu přidržovačem a střížnicí a síla vyhazovače, jenž sevře materiál mezi střížníkem a vyhazovačem. [8]



Obr. 3.16 Síly při přesném stříhání

Celková potřebná síla [5] je dána součtem výše uvedených sil:

$$F_c = F_s + F_p + F_v \quad (3.4)$$

#### 3.3.1 Střížná síla

Střížná síla [5] se určí ze vztahu:

$$F_s = l_s \cdot t \cdot \tau_s \quad (3.5)$$

#### 3.3.2 Síla přidržovače

Síla přidržovače [5] se určí ze vztahu:

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h_t \quad (3.6)$$

kde:  $L_h$  - délka tlačné hrany [mm]

$h_t$  - výška tlačné hrany [mm]

#### 3.3.3 Síla vyhazovače

Síla vyhazovače [5] se určí ze vztahu:

$$F_v = S \cdot p \quad (3.7)$$

kde:  $S$  - plocha přesně stříhané součásti [mm<sup>2</sup>]

$p_v$  - měrný tlak vyhazovače [MPa] ( $p = 30$  až  $70$  MPa, v případě spojení stříhání s ohýbáním se volí  $100$  až  $150$  MPa)

### 3.4 Práce při přesném stříhání

Podobně jako celková síla pro přesné stříhání se celková práce skládá ze střížné práce, z práce přidržovače (na zatlačení tlačné hrany) a z práce vyhazovače.

Celková práce [8] je tedy dána součtem výše uvedených prací:

$$A_c = A_s + A_p + A_v \quad (3.8)$$

#### 3.4.1 Střížná práce

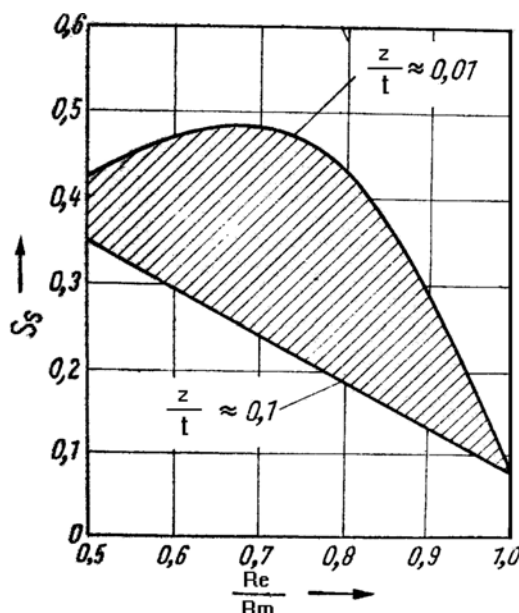
Střížná práce [8] se určí ze vztahu:

$$A_s = s_s \cdot \frac{l_s \cdot t^2 \cdot R_m}{10^3} \quad (3.9)$$

kde:  $l_s$  – obvod stříhu [mm]

$s_s$  – součinitel k výpočtu střížné práce, jeho hodnota závisí na podílu  $\frac{R_e}{R_m}$ ,

na měrné střížné mezeře  $\frac{z}{t}$  a na třetí práci střížníku ve stříhaném plechu a výstřížku ve střížnici, jeho hodnota lze také odečíst z diagramu (obr. 3.17)



Obr. 3.17 Směrné hodnoty pro součinitel  $s_s$  k výpočtu střížné práce dle rovnice (3.9) [8]

#### 3.4.2 Práce přidržovače

Protože bylo zjištěno, že síla přidržovače působí v rozmezí tlačné hrany a že její průběh je přibližně lineární, bude práce přidržovače [8] přibližně:

$$A_p = \frac{2R_m \cdot L_h \cdot h_t^2}{10^3} \quad (3.10)$$

kde:  $L_h$  - délka tlačné hrany [mm]

$h_t$  - výška tlačné hrany [mm]

### 3.4.3 Práce vyhazovače

Práce vyhazovače [8] se určí ze vztahu:

$$A_v = \frac{S \cdot p_v \cdot t}{10^3} \quad (3.11)$$

kde:  $S$  - plocha přesně stříhané součásti [mm<sup>2</sup>]

$p_v$  - měrný tlak vyhazovače [MPa] ( $p = 30$  až  $70$  MPa, v případě spojení stříhání s ohýbáním se volí  $100$  až  $150$  MPa)

## 3.5 Mazání při přesném stříhání

Jelikož se při přesném stříhání pracuje s velkými tlaky, které vznikají na bocích střížníku a otvoru střížnice, v těchto místech se zvyšuje teplota. Proto tato technologie vyžaduje použití speciálních maziv, která sníží tření na těchto plochách, zvýší životnost funkčních částí nástroje a kvalitu střížné plochy.

Samotných maziv je dnes na trhu velmi mnoho. Například konkrétně pro přesné stříhání jsou na trhu maziva DRAWSOL 3005 nebo WISURA AK 2976 CF. Dělí se dle technologií, na které jsou určena, dle materiálu a jeho tloušťky apod. Maziva podléhají přísným technickým i ekologickým požadavkům. Musí mít vynikající smáčivost a přilnavost, pevnost v tlaku, smykovou stabilitu, vysokou tepelnou vodivost, musí dostatečně snižovat tření, musí se snadno nanášet a odstraňovat a v neposlední řadě musí splňovat přísná zdravotní a ekologická kritéria. [2,11,19]

## 3.6 Materiály vhodné pro přesné stříhání

Technologie přesného stříhání klade vyšší požadavky na mechanické i strukturní vlastnosti stříhaného materiálu než konvenční stříhání. Nejčastějšími přesně stříhanými materiály jsou oceli, barevné kovy, lehké kovy a jejich slitiny.

**Oceli**

Oceli jako vůbec nejpoužívanější materiál pro přesné stříhání musí mít dostatečnou tvárnost za studena a minimální mez kluzu. Pro racionální výrobu součástí a hospodárné využití nástrojů jsou nejvýhodnější nízkouhlíkové a nízkolegované oceli s maximální pevností 600 MPa, které mají malý obsah dalších příměsných prvků (fosfor, síra, dusík, ...), vměstků jako pozůstatků hutního pochodu. Oceli s vysokým obsahem chrómu, manganu a křemíku nejsou pro přesné stříhání vhodné, protože zvyšují pevnost materiálu a opotřebení nástroje. V příloze 7 jsou uvedeny oceli, u kterých byla odzkoušena vhodnost použití pro přesné stříhání a je zřejmé, že nejlépe splňují výše uvedené podmínky pro vhodnost k přesnému stříhání oceli 11 300.20, 11 320.21, 11 343.20, 11 373.20, ale také cementační oceli 12 010.1, 12 020.1.

Pro přesné stříhání ocelí má rozhodující význam jejich struktura, která je ovlivněna obsahem uhlíku a přítomných legujících prvků i předchozím tepelným zpracováním. S rostoucím podílem tvrdých strukturních složek se zvyšuje opotřebení nástrojů a snižuje se možnost přesného stříhání. Například z oceli ve stavu přírodním, tj. z oceli tepelně nezpracované se strukturou feriticko-perlitickou s lamelárním perlitem, lze přesně stříhat tvary pouze s dostatečně velkým zaoblením. Při malém zaoblení vznikají mikroskopické trhlinky. Z oceli ve stavu žíhaném se strukturou perlitickou s globulárním perlitem je možné přesně stříhat složité tvary součástí s malým zaoblením, aniž vzniknou trhlinky. [7,11]

**Barevné kovy**

Také měď, měkké bronzy a mosazi s obsahem mědi větším než 63% jsou vhodné pro přesné stříhání a naopak slitiny mědi, které obsahují podíl mědi menší než 56% a mosaz s obsahem olova jsou pro přesné stříhání nevhodné. [7,11]

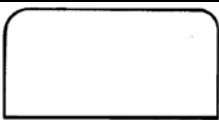
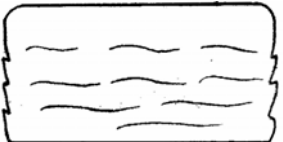
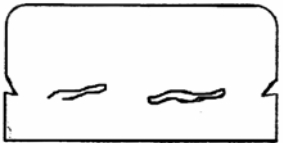
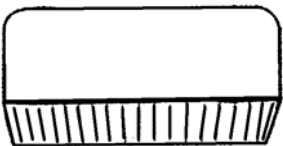
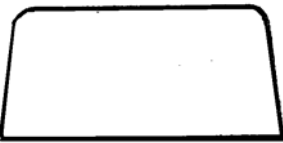
**Lehké kovy a jejich slitiny**

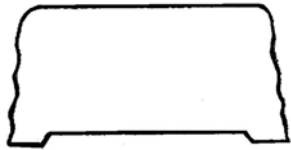
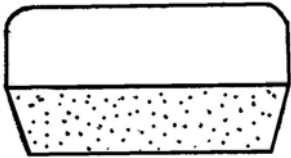
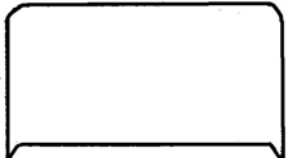
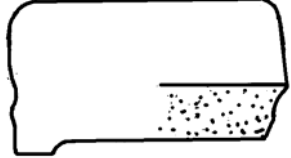


Hliník a jeho slitiny do pevnosti až 300 MPa jsou vhodné pro přesné stříhání, ale při větším obsahu legujících prvků je tuto vhodnost nutno ověřit. [7,11]

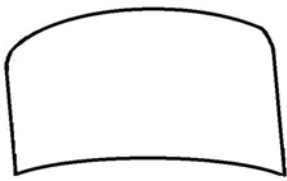

### 3.7 Vady vzniklé přesným stříháním

V tabulce 3.1 jsou uvedeny vady, jejich příčiny a odstranění, které mohou vzniknout při technologii přesného stříhání.

Tab. 3.1 Vady při přesném stříhání, jejich příčiny a odstranění [11]

Poř. číslo	Tvar výstřižku	Stav střížné plochy	Příčina	Odstranění
1		dobrý	-	-
2		špatný	nevhodný materiál	materiál vyžítat nebo změnit
			velká drsnost střížnice	přebrousit střížnici, pokud to střížná vůle dovolí.
			nedostatečné mazání	mazání provádět vhodným mazadlem
3		trhlina	nízký tlak přidržovače	zvětšit tlak přidržovače
			malé zaoblení střížnice	zvětšit zaoblení stříž.
			nevhodný materiál	materiál vyžítat nebo změnit
			vzdálenost můstku a postranního odpadu je malá	zvětšit krok a použít širší pás materiálu
			nízká tlačná hrana	změna konstrukce, tlačnou hranu dát i na střížnici
4		odtržený okraj	střížná vůle je velká	vyrobit nový střížník
5		kuželovité střížné plochy	zaoblení střížnice je velké	střížnici přebrousit a méně zaoblit

6		střižná plocha zvlněná a kuželová	střižná vůle je malá	střižnou vůli zvětšit
7		střižná plocha zvlněná	zaoblení střižnice je velké, střižná vůle je velká	střižnici přebrousit, zmenšit zaoblení
8		velký otřep	střižná vůle je malá, střižník je opotřebovaný	střižnou vůli zvětšit, střižník přebrousit
			střižná vůle je optimální, střižník je vyštípnutý	horní stůl přestavit nahoru, střižník přebrousit a lapovat
			normální opotřebení	střižník přebrousit a lapovat
9		na jedné straně odtržený okraj, na druhé straně střižná plocha zvlněná a po obvodu vypouklá	rozdílná střižná vůle, vedení na vnějším průměru	excentricky přebrousit a střižník znovu vystředit
			vedení střižníku má velkou vůli	opravit vůli ve vedení
10		velký poloměr	zaoblení střižnice je velké	střižnici přebrousit a méně zaoblit, změna konstrukce: tlačnou hranu umístit na střižnici
			malý protitlak	zvýšit protitlak v závislosti na obrysu
11		plocha vypouklá	malý protitlak, kontrola oleje na pásu	zvýšit protitlak, vybrousit více drážek na přidržovači k odvodu oleje

12		výstřížek je podélně prohnut	napětí v materiálu	použít polotovar s odstraněným pnutím, předřadit rovnačku nebo součásti rovnat
13		výstřížek zkroucený	napětí v materiálu	vyžítat k odstranění pnutí
			poloha výstřížku v pásu	změna polohy výstřížku
			nepříznivý průběh vláken	—
			nesoučasné vyhazování výstřížku u vícedílného vyhazovače	zkontrolovat tloušťku a souměrnost vyhazovaných výstřížků a délku vyhazovacích kolíků
14		výstřížky poškozeny	výstřížky se zachycují v pásu	snížit posuv, pás dříve posouvat a výstřížek zpožděně vyhazovat
			špatná funkce vodících kolíků	vodící kolíky přizpůsobit změně nástroje
			nižší životnost, velká střížná rychlost, předčasné vyštípnutí střížníku	snížení střížné rychlosti
			malá střížná vůle	zvětšit střížnou vůli
			střížník nemá správnou tvrdost	kontrola tvrdosti střížníku
			velká síla na přidržovači	seřídít na potřebnou sílu

### 3.8 Nástroje pro přesné stříhání

Jelikož nástroje konstruované pro technologii přesného stříhání jsou vystaveny velkému namáhání, jejich konstrukce se v porovnání s nástroji pro konvenční stříhání v mnohém liší. Nástroje pro přesné stříhání mají přidržovač s tlačnou hranou, který slouží k sevření stříhaného materiálu na vnější straně křivky stříhu vnějšího tvaru a k setření plechu ze střížníku. Dále vyhazovač, jehož funkcí není jenom vyhazování přesně stříhaných součástí, ale i přenášení opačně působící síly od lisu na materiál sevřený mezi střížníkem a vyhazovačem.

Hlavní konstrukční požadavky: [8,11]

1. tuhost nástroje, kterou zajistí např. sloupky s valivým vedením,
2. robustnost a přesnost konstrukce jednotlivých částí nástroje z důvodu jejich velkého namáhání,
3. přesné výškové ustavení nástroje,
4. přesné ustředění funkčních částí nástroje, jelikož střížná vůle, která je mezi střížníkem a střížnicí, musí být zachována i po několika demontážích,
5. samotná konstrukce nástroje musí být volena s ohledem na druh použitého lisu, tzn. rozměry, způsob práce, podávání atd.,
6. pro jednotlivé části nástroje musí být pečlivě zváženy druh použitého materiálu a jeho tepelné zpracování.

### 3.9 Konstrukce nástrojů pro přesné stříhání

Nástroje s tlačnou hranou se konstruují ve dvou provedeních dle typu lisu:

- a) nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem (kap. 3.9.1),
- b) nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem (kap. 3.9.2).

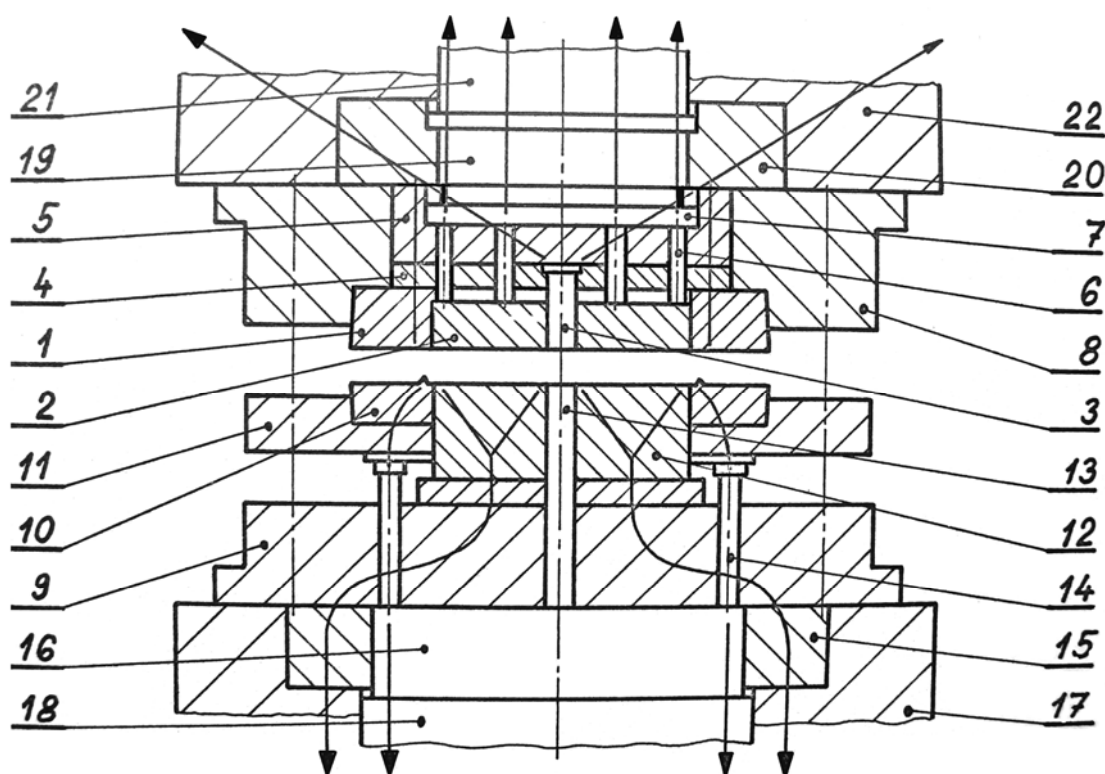
#### 3.9.1 Nástroje s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem

Na obr. 3.18 je znázorněn tento typ nástroje, kde střížník **12**, upevněný v základové desce vodícího stojánu **9**, je na svém obvodu obepínán přidržovačem s tlačnou hranou **10**. Síla potřebná k zatlačení tlačné hrany a k sevření materiálu mezi přidržovačem a střížnicí **1** se přenáší od tlakového pístu **18** na přidržovač prostřednictvím kolíků **14**. Vyhazovač výstřížků **2**,



poháněný rovněž tlakovým pístem **21** přes tlačné kolíky **6**, vyhazuje výstřížek ze střížníku **3**. Střížnice **1** je v upínací desce vodícího stojánu **8** zalisována, vyhazovač **2** a podložka **5** jsou uloženy suvně. Ve vyhazovači jsou smykově uloženy děrovací střížník **3**. Horní část nástroje je připevněna ke stolu lisu pomocí upínek a šroubů.

Střížník, spojený se spodní částí stojánu, je při stříhání velmi citlivý na příčné síly, které způsobují vybočení střížníku ze směru stříhání. Na obr. 3.18 je také zakreslen průběh sil v nástroji. V horní části nástroje probíhají přidržovací a střížná síla od střížnice přes přidržovač a podložku k upínací desce a opačně působící síla probíhá od vyhazovače přes kolíky k pístu opačně působící síly. Ve spodní části nástroje se kříží střížná a vyhazovací síla. Střížná síla probíhá od střížníku přes spodní část nástroje ven ke spodní upínací desce. Spodní část nástroje, která je zatěžována střížnou silou, je oslabena otvory pro kolíky, jenž odvádějí sílu od přidržovače a od vyhazovače výstřížků a upevňovacích šroubů k připevnění střížníku. [8]



Obr. 3.18 Schéma nástroje pro přesné stříhání s pevným střížníkem a pohyblivým přidržovačem [8]

Horní část nástroje:

1 - střížnice

Spodní část nástroje:

9 - základová deska vodícího stojánu

- |                                    |                       |
|------------------------------------|-----------------------|
| 2 - vyhazovač                      | 10 - přítlačná deska  |
| 3 - děrovací střížník              | 11 - vodící deska     |
| 4 - kotevní deska                  | 12 - tvarový střížník |
| 5 - podložka                       | 13 - vyrážecí         |
| 6 - tlačný kolík                   | 14 - tlačný kolík     |
| 7 - vyhazovací kroužek             |                       |
| 8 - upínací deska vodícího stojánu |                       |

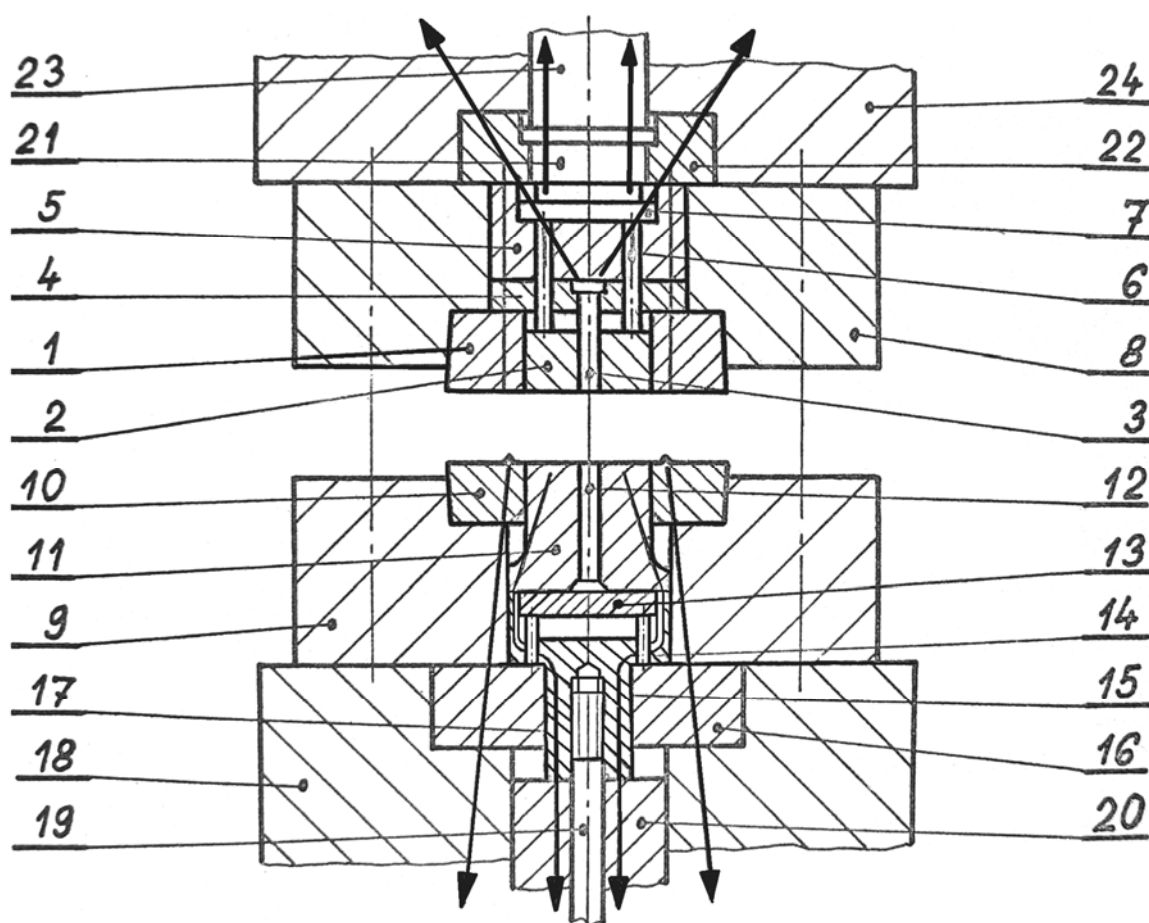
Spodní část lisu: 15 - tlakový opěrný kroužek, 16 - stavěcí tlakový kroužek,  
17 - stůl lisu, 18 - hydraulický píst pro lisovací sílu.

Horní část lisu: 19 - tlačná vložka, 20 - tlakový opěrný kroužek,  
21 - hydraulický píst pro protitlak, 22 - stůl lisu.

### **3.9.2 Nástroje s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem**

Nástroj tohoto typu je znázorněn na obr. 3.19. Horní a spodní část nástroje jsou vůči sobě vedeny dvěma vodícími sloupky ve valivém vedení. Vodící sloupky jsou zalisovány v upínací desce **8** a proti vysunutí zajištěny pomocí podložky a šroubu. Přidržovač s tlačnou hranou **10** je zalisován do základové desky vodícího stojánu **9** s uložením H7/p6. Střížník **11** je suvně zalicován v základové desce vodícího stojánu a profilová část střížníku smykově v otvoru vyhazovače **10**. Vyhazovač výstřížků **12** uložený ve střížníku s vůlí a opírající se o opěru uloženou v dříku střížníku vytlačuje výstřížky ze střížníku **11**. Pohyb střížníku je vyvolán držákem střížníku **17** suvně zalicován v základové desce. Vyhazovače jsou ovládány vyrážecí lištou **13** a tlačnými kolíky **14**. Spodní část nástroje je připevněna k beranu lisu šroubem M14 **19** a tlakovým opěrným kroužkem **16**. Střížnice **1**, vyhazovač **2**, střížník **3** a vodící stojánek **8** jsou uspořádány stejně jako v horní části předchozího typu nástroje (obr. 3.18).

Střížník u tohoto typu nástroje (obr.3.19) je při stříhání veden přidržovačem a tedy příčné síly působící na střížník nevyvolávají posun střížných prvků k sobě. V horní části nástroje odpovídá průběh sil průběhu sil na obr. 3.18, ale ve spodní části jsou poměry sil příznivější. Síla přidržovače prochází přes základovou desku vodícího stojánu až do stolu lisu, kdežto střížná síla prochází střížníkem k beranu lisu. [8]



Obr. 3.19 Schéma nástroje pro přesné stříhání s pohyblivým střižníkem a pevným přidržovačem [8]

Horní část nástroje:

- 1 - střižnice
- 2 - vyhazovač
- 3 - děrovací střižník
- 4 - kotevní deska
- 5 - podložka
- 6 - tlačný kolík
- 7 - vyhazovací kroužek
- 8 - upínací deska vodícího stojánu

Spodní část nástroje:

- 9 - základová deska vodícího stojánu
- 10 - přidržovač s tlačnou hranou
- 11 - tvarový střižník
- 12 - vyrážec
- 13 - vyrážecí lišta
- 14 - tlačný kolík
- 15 - držák střižníku

Spodní část lisu: 16 - tlakový opěrný kroužek, 17 – držák střižníku,  
18 - stůl lisu 19 - upevňovací šroub, 20 - beran lisu

Horní část lisu: 21 - tlačná vložka, 22 - tlakový opěrný kroužek,  
23 - hydraulický píst pro protitlak, 24 - stůl lisu

### 3.10 Upínání střížných nástrojů na lisech

Hlavním předpokladem upínacích prvků je jejich velká tuhost, protože na správném upnutí a seřízení nástroje závisí nejen jeho životnost, ale i jakost výstřižku a v neposlední řadě bezpečnost obsluhy.

Způsob upínání nástroje podléhá mnoha faktorům, mezi které patří např. hmotnost, složitost nástroje nebo typ použitého lisu. Pro přesné stříhání jsou nevhodné upínací desky lisů, které jsou upevněny přes velké otvory ve stojanu nebo v beranu lisu, jelikož se mohou deformovat. Nástroje pro přesné stříhání s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem můžeme tedy na lisech upínat pomocí: [8]

1. *dílů kruhového tvaru* – horní a dolní tlakový kroužek opatřený otvorem. Velká dosedací plocha mezi horní částí vodícího stojánu a horním tlakovým kroužkem umožňuje odvod síly přidržovače při nepatrném měrném tlaku,
2. *pravoúhlých dílů* – tlakové kroužky mají obdélníkové otvory, ve kterých se pohybují vložky tlakových kroužků, také obdélníkového tvaru.

### 3.11 Materiály použité u jednotlivých částí nástroje

Na materiály použité u jednotlivých částí nástroje pro přesné stříhání a jejich tepelné zpracování jsou kladeny vysoké požadavky z důvodu velkého namáhání. Samotná volba materiálu pro funkční části nástroje podléhá mnoha faktorům. Mezi ně patří např.:

1. typ nástroje a způsob jeho namáhání,
2. parametry stříhaného materiálu, tzn. jeho tloušťka, mechanické vlastnosti,
3. druh stříhané součásti, tzn. tvar, funkce apod.,
4. počet vyráběných kusů výstřižků.

Výše uvedený 4. bod je velmi důležitý. Nástroje pro malosériovou výrobu se někdy vyrábí z méně obvyklých materiálů, např. ze slitin hliníku, zinku aj. a to z důvodu menší požadované životnosti, dobré manipulace s nimi a hlavně ekonomických důvodů, protože tyto materiály jsou cenově dostupné i dobře obrobitelné. Nejčastější materiály pro nástroje velkosériové výroby jsou různé

druhy nástrojových ocelí (středně, vysoce legované), oceli k cementování i nelegované uhlíkové oceli, všechny vhodně tepelně zpracovány (viz tab. 3.2).

Tab. 3.2 Materiály a tepelné zpracování funkčních částí střížného nástroje [11]

Funkční část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
střížnice	19 436 19 437	kaleno a popuštěno na: 61 až 63 HRC pro $t = 0,4$ až 3 mm 58 až 61 HRC pro $t = 3$ až 7 mm
střížník - dřík	19 437	kaleno a popuštěno na: 59 až 61 HRC pro $t = 0,4$ až 3 mm 58 až 60 HRC pro $t = 3$ až 7 mm
- hlava	19 437	kaleno a popuštěno na 56 až 58 HRC
děrovací střížník	19 421	kaleno a popuštěno na 64 HRC
přidržovač	19 437	kaleno a popuštěno na 55 až 57 HRC
vyhazovač	19 436	kaleno a popuštěno na 58 až 60 HRC
vyrážecí	19 421	kaleno a popuštěno na 60 HRC
vyrážecí kolík	19 421	kaleno a popuštěno na 60 HRC
tlačný kolík	19 421 19 422	kaleno a popuštěno na 59 až 61 HRC
podložka	19 437	kaleno a popuštěno na 56 až 58 HRC
opěrná deska	19 436	kaleno a popuštěno na 58 až 60 HRC
zděř	19 452 (výkovek)	kaleno a 2x popuštěno na 55 až 57 HRC
kotevní deska	19 437	kaleno a popuštěno na 56 HRC

Také se užívá slinutých karbidů s 15 až 30% kobaltu, se kterými se dosahuje 10-ti až 20-ti násobného zvýšení výkonu oproti ocelovým nástrojům. Nevýhodou je cena nástroje (3 až 5krát dražší), tudíž jejich použití se doporučuje při sérii větší než 700 000 ks. [10,11,12]

Dnes se hledají cesty jak ještě několikanásobně zvýšit životnost nástroje, snížit koeficient tření a zlepšit tepelnou vodivost. Jednou z cest je investice do vývoje maziv, ale dnes je to především vývoj povrchových úprav nejen střížných nástrojů. Jedná se o technologii povlakování nástrojů metodou CVD, PVD a PA CVD.

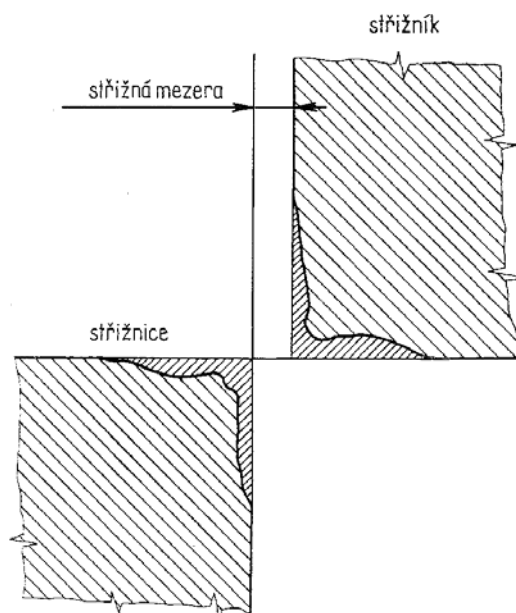
Technologie PVD (physical vapor deposition) je fyzikální nanášení povlaků, probíhající zpravidla při teplotách do 500°C. Výhodou je, že proces povlakování probíhá až po finálním zušlechťení nástroje. Povlak PVD vyhovující životnost a dobře zamezuje nalepování hliníku. Technologie CVD je chemická depozice povlaků z par (chemical vapor deposicion), která probíhá za vysokých teplot (cca 1000°C a víc), takže po povlakování musí následovat zušlechťení na požadovanou tvrdost. Nástroje s povlaky CVD mají výrazně vyšší životnost než PVD, ale vzhledem k objemovým změnám při následném zušlechťování nástrojů, nelze metodu CVD použít pro některé tvarově náročné a vysoce přesné nástroje, ani pro součást s přísnými rozměrovými tolerancemi. Požadované vlastnosti povlaků mají např. vrstvy typu TiCN nebo TiN. Používají se i povlaky sendvičového typu, kdy na povrchu nástrojů s povlakem TiCN (CVD) je nanášena kluzná vrstva (např. PVD), která je do krystalové struktury povlaku velmi dobře zakotvena. Metoda PA CVD řeší problém objemových změn při vysokoteplotních procesech CVD. Metoda využívá výhody chemické reakce aktivované plasmovým výbojem, a tudíž probíhá za teploty nižší než je popouštěcí teplota použitého materiálu. [18]

### 3.12 Životnost a údržba funkčních částí nástroje

Funkční části střížného nástroje podléhající nejvíce opotřebení jsou především střížník, střížnice (obr. 3.20), přidržovač, vyhazovač a opěrná deska. Velikost tohoto opotřebení resp. životnost závisí na rychlosti tváření, tloušťce a tvaru stříhané součásti, druhu materiálu jak stříhané součásti, tak funkčních částí nástroje, druhu mazacích prostředků, kvalitě střížného nástroje (drsnot povrchu, jakost použitého materiálu, přesnost výroby nástroje atd.), druhu a technickém stavu lisu a také na samotné péči o nástroj.

Životnost nástroje zvýší rovněž jeho povrchová úprava funkčních ploch. Jde o metody zvyšující jakost povrchu materiálu, tedy lapování, leštění. Velkého navýšení životnosti dosahuje již v předchozí kapitole zmíněné povlakování nástroje metodami PVD, CVP a PA CVD. Tedy s dobře konstruovaným nástrojem, vhodným materiálem a jeho povrchovou úpravou lze bez přebroušení střížníků vyrobit 20 000 až 50 000 výstřižků. Střížnici je nutno většinou přebrousit

po vystříhnutí 100 000 až 150 000 výstřížků. Úběr materiálu se u střížníků pohybuje při broušení cca mezi 0,2 až 0,4 mm, při broušení střížnice se úběr pohybuje cca mezi  $\frac{1}{4}$  až  $\frac{1}{2}$  tloušťky stříhaného materiálu. Počet přebroušení je omezen rozměry funkčních částí, výstřížku a konstrukcí nástroje. Přítlačná deska s tlačnou hranou se většinou nepřebroušuje, protože téměř nepodléhá žádnému opotřebení. [11]



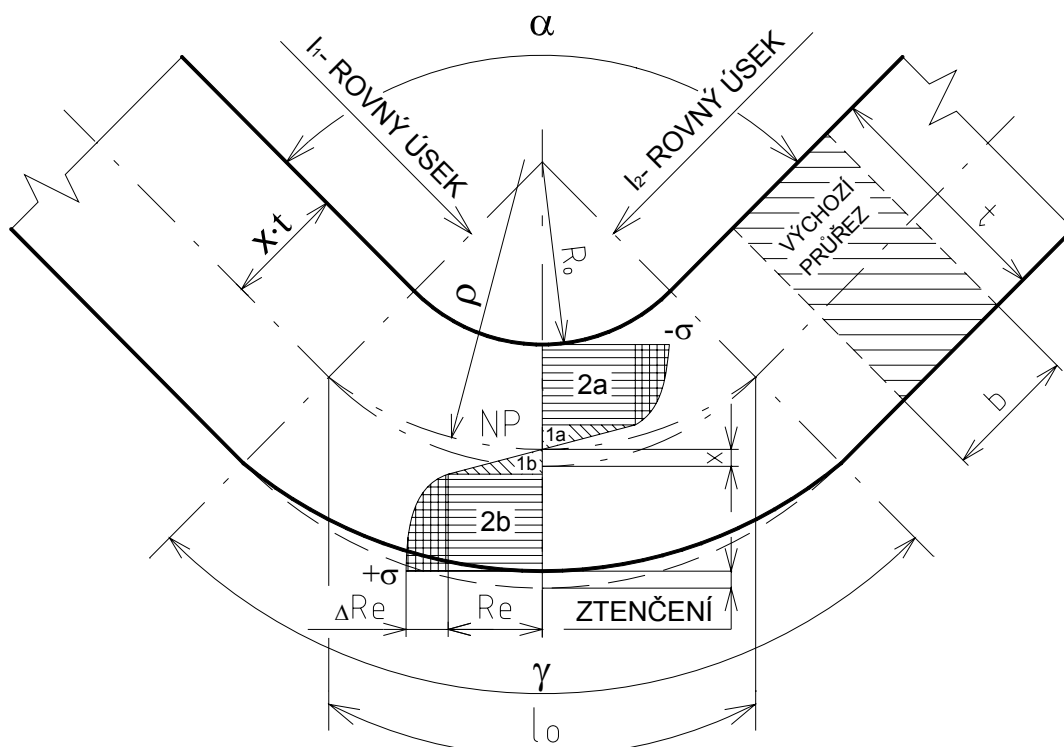
Obr. 3.20 Tvar opotřebených střížných ploch [11]

## 4 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ

### 4.1 Princip

Ohýbání je technologická operace, při které působením ohybového momentu způsobeného ohybovou silou dochází k trvalé deformaci polotovaru. Charakteristickým znakem ohýbání je tedy změna tvaru osy ohýbané součásti. Provádí se většinou za studena, ale pokud polotovar dosahuje velkých rozměrů, velkých průřezů, materiál má vyšší pevnost nebo je křehký, provádí se ohyb za tepla. Při ohýbání dochází k pružně – plastické deformaci materiálu. Faktory, které ovlivňují velikost deformace při ohýbání materiálu jsou: poloměr ohybu, velikost ohybového momentu, druh a kvalita ohýbaného materiálu, jeho tloušťka v místě ohybu, orientace vláken tzn. směr válcování vzhledem k ose ohybu.

Jedna z charakteristických vlastností ohýbání je ta, že se mění tvar plochy ohýbané součásti tzv. neutrální plochy. Napětí v tomto místě mění skokem svoji velikost a znaménko (+,-), tudíž je patrné, že právě v tomto místě se nachází oblast bez napětí i bez deformace. V důsledku této změny a průběhu napětí, tahového na vnější straně ohybu, tlakového na vnitřní straně ohybu, dochází k deformaci příčného průřezu (obr. 4.1). [3,4]



Obr. 4.1 Schéma ohýbání [4]



kde: 1a, 1b – oblast pružné deformace

2a, 2b – oblast plastické deformace se zpevněním  $\Delta R_e$

b – šířka pásu plechu

t – tloušťka plechu

x – velikost posunutí neutrální plochy (NP) od původní osy průřezu

$R_o$  – poloměr ohybu

$l_o$  – délka ohnutého úseku v neutrální ploše (NP)

$\rho$  – poloměr neutrální plochy (NP)

$\gamma$  – úhel ohnutého úseku ( $\gamma = 180 - \alpha$ )

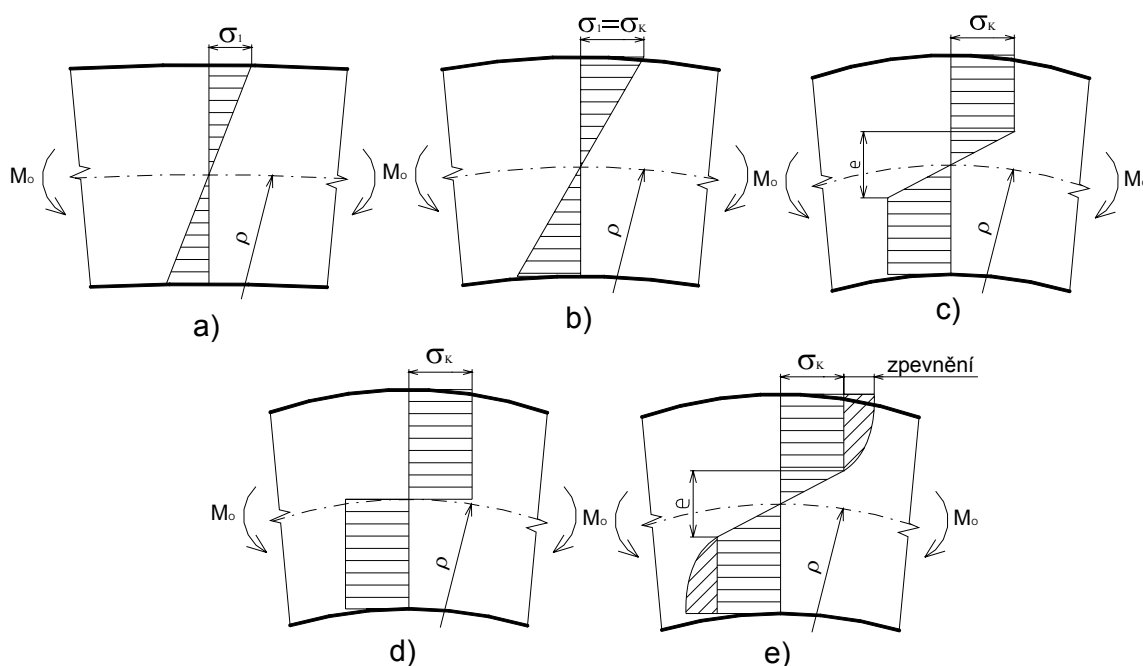
$\alpha$  – úhel ohybu

Při ohýbání plošných materiálů se rozlišuje, jestli jsou ohýbány úzké polotovary ( $b < 3 \cdot t$ ) nebo široké ( $b > 3 \cdot t$ ), kde b je šířka polotovaru a t tloušťka polotovaru. Ohýbáním úzkých polotovarů se deformuje jejich příčný průřez více než při ohýbání polotovarů širokých. Jestliže ohýbáme široké tenké plechy, dochází u nich k zeslabení tloušťky materiálu v místě ohybu, ale v příčném směru se průřez téměř nedeformuje. Podobně je tomu při ohybu tyčí kruhového průřezu o průměru d s poloměrem ohybu  $R_o \geq 1,5 \cdot d$ , kde se příčný průřez také téměř nedeformuje. V ostatních případech dochází k deformaci příčného průřezu a to do oválného nebo až vejčitého tvaru. [3]

## 4.2 Rozložení napětí v průřezu úzké tyče v průběhu jejího ohýbání

Ihned po začátku působení ohybového momentu dochází k pružné deformaci (obr. 4.2a), jenž má přímkový průběh napětí  $\sigma_1$  s maximálními hodnotami na povrchu materiálu a pro kterou platí Hookův zákon. Protože ještě nebylo dosaženo meze kluzu (nedošlo k plastické deformaci), materiál by se po odlehčení vrátil do původního stavu. Po dalším zvětšování ohybového momentu napětí  $\sigma_1$  dosáhne kritické hodnoty napětí na mezi kluzu  $\sigma_k = R_e$  nebo  $R_{p0,2}$  (obr. 4.2b) a od tohoto okamžiku se začíná od krajních vláken materiálu do středu profilu šířit plastická deformace. Po dalším růstu ohybového momentu se bude směrem k neutrální ose zvětšovat hloubka ideálně plastické deformace a rozložení napětí po průřezu bude mít lichoběžníkový tvar (obr. 4.2c).

Vzdálenost  $e$  (obr. 4.2c, obr. 4.2e) označuje oblast pružné deformace. Pokud by velikost této oblasti byla nulová, znamenalo by to, že plastická deformace se rozšířila na celou tloušťku ohýbaného profilu (obr. 4.2d), tzv. ideálně plastický ohyb. Obr. 4.2e znázorňuje průběh napětí v průřezu ohýbané úzké tyče s uvažováním zpevnění. [6]

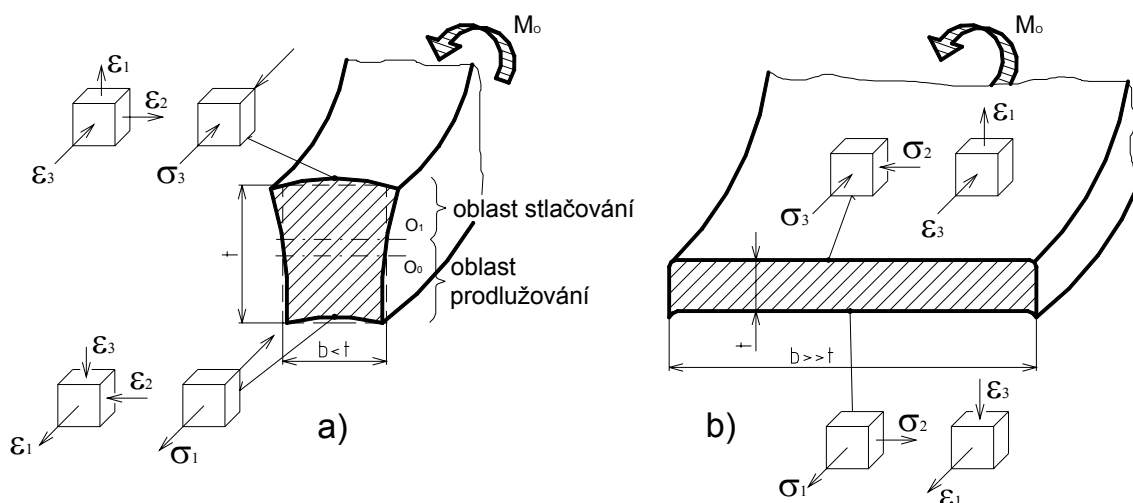


Obr. 4.2 Rozložení napětí v průřezu ohýbané úzké tyče v jednotlivých fázích ohybu [6]

### 4.3 Napjatost a přetvoření při prostém ohybu

„Průběh napjatosti a přetvoření posoudíme na jednoduchých případech ohybu tyčí a pásů (obr. 4.3). Při ohybu úzkých tyčí obdélníkového průřezu (obr. 4.3a), kdy šířka je menší než výška, je napětí  $\sigma_2$  ve směru šířky možno zanedbat. Napjatost v krajních vláknech na vnější straně odpovídá jednoosému tahu a na vnitřní straně jednoosému tlaku s trojosým stavem přetvoření. Šířka ohýbané tyče se na vnitřní tlakové straně zvětšuje a na vnější tahové straně se zmenšuje.

Při ohýbání širokých pásů (obr. 4.3b) je zabráněno přetvoření v příčném směru,  $\varepsilon_2 = 0$  a vzniká rovinný stav přetvoření a v krajních vláknech rovinná napjatost“ [6].



Obr. 4.3 Schéma napjatosti a přetvoření při prostém ohybu tyčí a širokých pásů [6]

#### 4.4 Výpočet poloměru neutrální plochy

a) pokud se provádí ohyb s velkým poloměrem zaoblení, tzn.  $R_0 / t \geq 12$ , je poloměr neutrální plochy [4] dán vztahem:

$$\rho = R_0 + \frac{t}{2} \quad (4.1)$$

b) pokud se provádí ohyb s malým poloměrem zaoblení, tzn.  $R_0 / t \leq 6$ , tak se při výpočtu poloměru neutrální plochy [4] musí přihlídnout také na deformaci průřezu:

$$\rho = R_0 + \frac{t}{2} \cdot z_z \cdot z_r \quad (4.2)$$

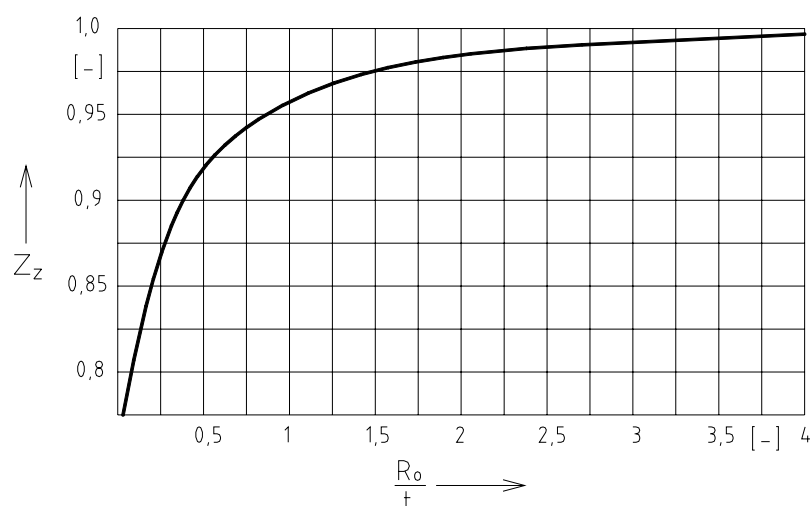
kde:  $z_z = t_1 / t$  součinitel ztenčení [-]

$z_r = b_1 / b$  součinitel rozšíření původního průřezu [-]

$b, t$  – šířka a tloušťka výchozího materiálu [mm]

$b_1, t_1$  – šířka a tloušťka materiálu po ohnutí [mm]

Součinitel ztenčení  $z_z$  závisí na tvárnosti materiálu, stupni deformace, úhlu ohybu a tření materiálu o nástroj. Velikost součinitele ztenčení při ohýbání tlustých průřezů z měkké oceli o  $90^\circ$  lze odečíst z diagramu na obr. 4.4. [4]

Obr. 4.4 Součinitel ztenčení  $z_z$  při ohýbání měkké oceli o  $90^\circ$  [4]

Hodnoty součinitele rozšíření  $z_r$  pro měkkou ocel pro poměrné šířky vzorku  $b = 0,5 \cdot t$  až  $b \geq 3 \cdot t$  jsou uvedeny v tabulce 4.1. [4]

Tab. 4.1 Součinitel rozšíření původního průřezu při ohýbání  $z_r$  [4]

Šířka ohýb. dílce $b$ [mm]	$b = 0,5 \cdot t$	$b = t$	$b = 1,5 \cdot t$	$b = 2 \cdot t$	$b = 2,5 \cdot t$	$b \geq 3 \cdot t$
Součinitel rozšíření $z_r$ [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1,0

c) pokud se provádí ohyb širokých pásů plechu, tzn.  $b > 3 \cdot t$ , poloměr neutrální plochy [4] se určuje pomocí součinitele  $x$ , který vyjadřuje posunutí neutrální plochy:

$$\rho = R_0 + x \cdot t \quad (4.3)$$

V tabulce 4.2 jsou uvedeny hodnoty součinitele  $x$  a součinitele  $z_z$  pro ohyb širokých polotovarů pravoúhlého průřezu z měkké oceli o úhel  $90^\circ$ .

Tab. 4.2 Závislost součinitele  $x$  a ztenčení  $z_z$  na poměrném poloměru ohybu  $R_0 / t$  [4]

$R_0/t$	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00
$x$	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486
$z_z$	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998

Vypočtený poloměr neutrální plochy  $\rho$  nám poslouží ke stanovení délky ohnuté části  $l_0$  [4] (viz. obr. 3.1) a vypočítá se ze vztahu:

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_0 + x \cdot t) \quad (4.4)$$

Celková délka rozvinutého polotovaru  $l_c$  [4] se určí ze součtu přímých a ohnutých úseků součástí:

$$l_c = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n + l_{o1} + l_{o2} + l_{o3} + \dots + l_{o(n-1)} \quad (4.5)$$

#### 4.5 Výpočet minimálního a maximálního poloměru ohybu

Výpočet minimálního poloměru ohybu se provádí z důvodu toho, že u málo plastických materiálů dochází ke vzniku trhlin a to díky intenzivnímu zpevnění materiálu. Tomuto problému můžeme předejít vhodným tepelným zpracováním a to žíháním. Tedy hodnota minimálního poloměru ohybu závisí na plastičnosti materiálu tzn., jestli je žíhaný nebo zpevněný. Dále tuto hodnotu ovlivňuje anizotropie materiálu, kvalita povrchu, šířka a tloušťka ohýbaného polotovaru, také úhel ohybu a vlastní způsob ohýbání. Důležitá je také orientace výstřížku z plechu v ohýbacím nástroji. Výstřížek je nutno zakládat do nástroje tak, aby ostřiny vzniklé při procesu stříhání se nacházely na vnitřní straně ohybu a to z důvodu jejich stlačování. Pokud by se ostřiny nacházely na vnější straně ohybu, docházelo by k jejich roztahování a tvoření trhlin. [3,4]

Početní stanovení minimálního poloměru ohybu [3,4] pro ocel se provádí dle vzorce:

$$R_{Omin} = \frac{t \cdot (1 - \varepsilon_c)}{2 \cdot \varepsilon_c} = k_3 \cdot t \quad (4.6)$$

kde:  $\varepsilon_c$  – mezní prodloužení tzn. prodloužení, při jehož překročení dojde k porušení ohýbaného materiálu (napětí přesáhne mez pevnosti v tahu  $R_m$ ). Vnější vrstvy nemají být tedy protaženy víc, než odpovídá prodloužení při tahové zkoušce [-]

$k_3$  – koeficient stanovený pro případ, že osa ohybu je kolmá na směr vláken materiálu, pro ocel je hodnota stanovena na 0,50 až 0,55 [-], pokud je osa ohybu podél vláken, což je nesprávně, hodnota minimálního poloměru ohybu se zdvojnásobuje.

Maximální poloměr ohybu je nutno znát z důvodu toho, aby v příslušných krajních vrstvách ohýbaného materiálu došlo k plastické tedy trvalé deformaci. Pokud by došlo jenom k elastické tedy pružné deformaci, polotovar se

po odlehčení opět vrátí do původního tvaru. Aby k tomu nedošlo, musí být splněna podmínka pro výpočet maximálního poloměru ohybu [4] daná rovnicí:

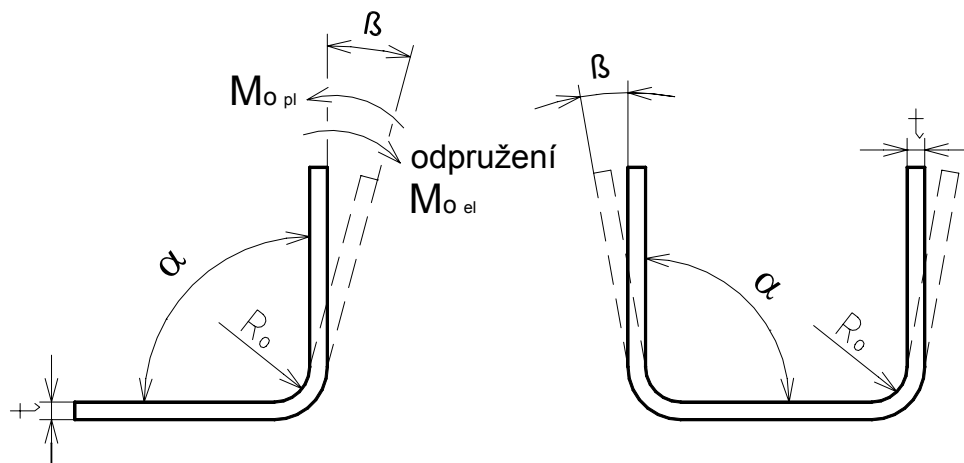
$$R_{o\max} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (4.7)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa]

$R_e$  – mez kluzu materiálu [MPa]

#### 4.6 Odpružení

Odpružení ohýbaného dílce, na obr. 4.5 označeno  $\beta$ , je výrazným doprovodným a zároveň také nežádoucím jevem v technologii ohýbání, který se projeví po odlehčení dílce. Způsobuje změnu požadovaného rozměru a tvaru dílce, který poté neodpovídá rozměrům nástroje. Ohyb se skládá z deformace pružné a tvárné, jakmile přestane působit na materiál deformační síla, zruší se tím pružná deformace, která změní úhel ohybu a zůstává pouze deformace tvárná, která určuje výsledný tvar součásti. [3]

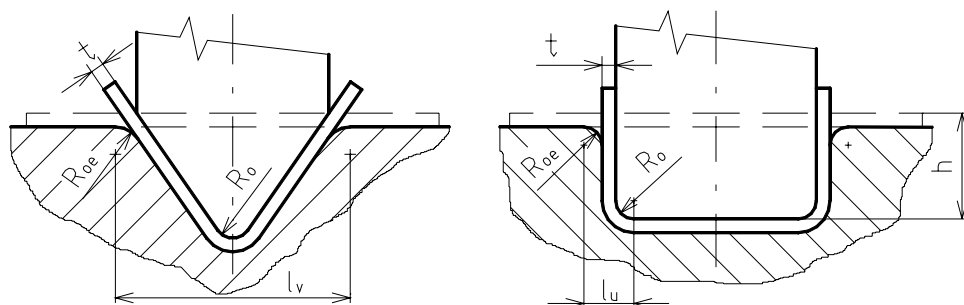


Obr. 4.5 Odpružení při ohýbání [2,5]

Velikost pružné deformace, která se tedy projeví odpružením po ohýbání, je odlišná v případě volného ohýbání bez kalibrování materiálu, v případě ohýbání s kalibrováním a v případě ražení úhlu.

#### 4.6.1 Volné ohýbání bez kalibrování materiálu

U tohoto způsobu ohýbání mají na velikost odpružení vliv kvalita a mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu, jeho tloušťka, poměr poloměru ohybu k tloušťce materiálu, způsob provedení ohybu (V-ohyb, U-ohyb), velikost úhlu ohybu a také konstrukce ohýbadla. Velikost odpružení můžeme stanovit orientačně pomocí diagramů pro daný materiál, které jsou sestaveny z výsledků praktických zkoušek (obr. 4.6) nebo můžeme velikost odpružení [4] vypočítat dle následujících vzorců: [3,4,9,10]



Obr. 4.6 Schéma k výpočtu velikosti odpružení [4]

V-ohyb:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{c_3 \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \quad (4.8)$$

U-ohyb:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{c_3 \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \quad (4.9)$$

kde:  $l_v$  – vzdálenost mezi opěrami ohybnice [mm]

$l_u$  – viz obr. 4.6,  $l_u = R_{oe} + R_o + 1,2 \cdot t$  [mm]

$\beta$  – úhel odpružení [°] (obr. 3.5)

$c_3$  – součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru  $R_o/t$ ;

$c_3 = 0,5$  až  $0,68$  [-]

#### 4.6.2 Ohýbání s kalibrováním

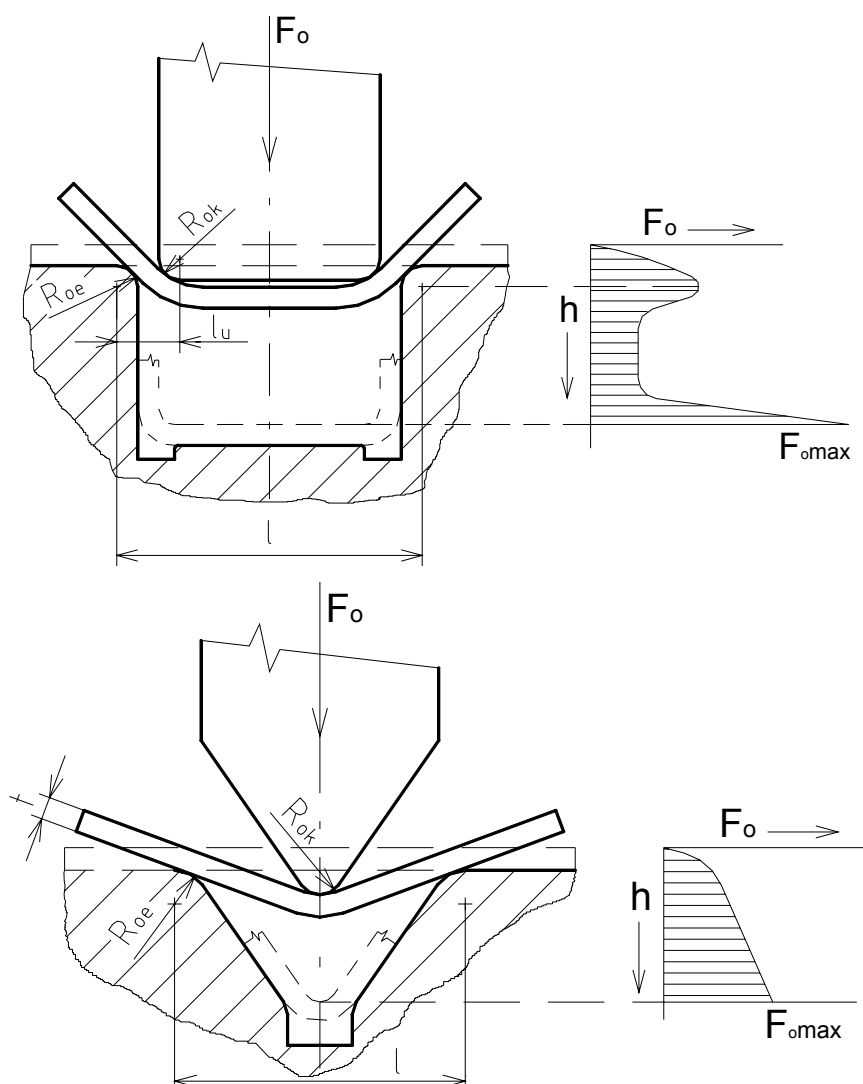
Odpružení při ohýbání s kalibrováním závisí také na stupni zpevnění kovu při kalibrování. Tudiž v tomto případě lze v jednom ohýbacím nástroji dosáhnout odpružení kladné, nulové nebo dokonce záporné a to v závislosti na hodnotách  $R_o/t$ ,  $l/t$  a  $\alpha$ . Při kalibrování a ražení úhlu nastává dvojí odpružení, která mají opačný smysl. Jedno odpružení v zaoblené části výlisku, jenž

je kladné a druhé odpružení rovných úseků, které se při ohýbání kalibrují mezi funkčními částmi nástroje (čelistmi) a toto odpružení je záporné.

Konečný tvar výlisku je dán vzájemnou interakcí obou protichůdných deformací. [4]

#### 4.7 Výpočet ohýbací síly a práce

Mezi základní způsoby ohýbání materiálu v praxi patří ohýbání do tvaru V a U. Tyto způsoby ohybu a průběh ohýbací síly ukazuje obr. 4.7.



Obr. 4.7 Způsob ohýbání a průběh ohýbací síly při ohýbání do tvaru V a U [3]

V běžné praxi nachází velké uplatnění norma ČSN 22 7340 o základních teoretických údajích. Stanovuje směrnice pro výpočet a konstrukci ohýbadel, dále tato norma obsahuje všeobecné údaje o ohýbání, sestavy ohýbadel,



vzorce, diagramy a tabulky potřebné ke konstrukci nástrojů a zabezpečuje také předpoklady pro navrhování ohýbadel, které berou na zřetel jak hledisko hospodárnosti konstrukce, tak zohledňuje i nejnovější teoretické poznatky z tohoto oboru. Podle této normy se při ohybu v ohýbadle do tvaru V postupuje: „ohýbaný polotovár je považován za nosník, který spočívá na dvou podporách ve vzdálenosti  $l$  a je zatížen uprostřed silou  $F_O$ “ [3]. A protože dochází ke tření mezi polotovarem a funkční částí ohýbadla, které dosahuje hodnoty až  $1/3 F_O$ , musíme právě o tuto hodnotu zvětšit ohýbací sílu. [3]

Ohybový moment [3]:

$$M_O = \frac{F_O \cdot l}{4} = W_O \cdot R_e \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon_c) \quad (4.10)$$

Ohýbací síla poté bude [3]:

$$F_O = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon_c) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot l} \quad (4.11)$$

Modul odporu průřezu v ohybu [3]:

$$W_O = \frac{b \cdot t^2}{6} \quad (4.12)$$

kde:  $R_e$  – napětí na mezi plastické deformace [MPa]

Mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken [3]:

$$\varepsilon_c = \frac{t}{2 \cdot R_{\min} + t} \quad (4.13)$$

kde:  $b$  – šířka materiálu [mm]

$l$  – vzdálenost podpor ohýbadla [mm]

Jestliže dojde současně při ohýbání ke kalibrování polotovaru, je třeba s přihlédnutím k výše uvedenému tření přičíst kalibrovací sílu  $F_k$  [3].

$$F_k = S_o \cdot p_k \quad (4.14)$$

kde:  $S_o$  – kalibrovaná plocha polotovaru v průmětu kolmém na pohyb ohybníku [mm<sup>2</sup>]

$p_k$  – měrný tlak pro kalibrování [MPa];  $p_k = 30$  až  $150$  MPa dle druhu materiálu, pro ocel do tloušťky  $10$  mm je  $p_k = 80$  až  $150$  MPa.

Celková ohýbací síla [3]:

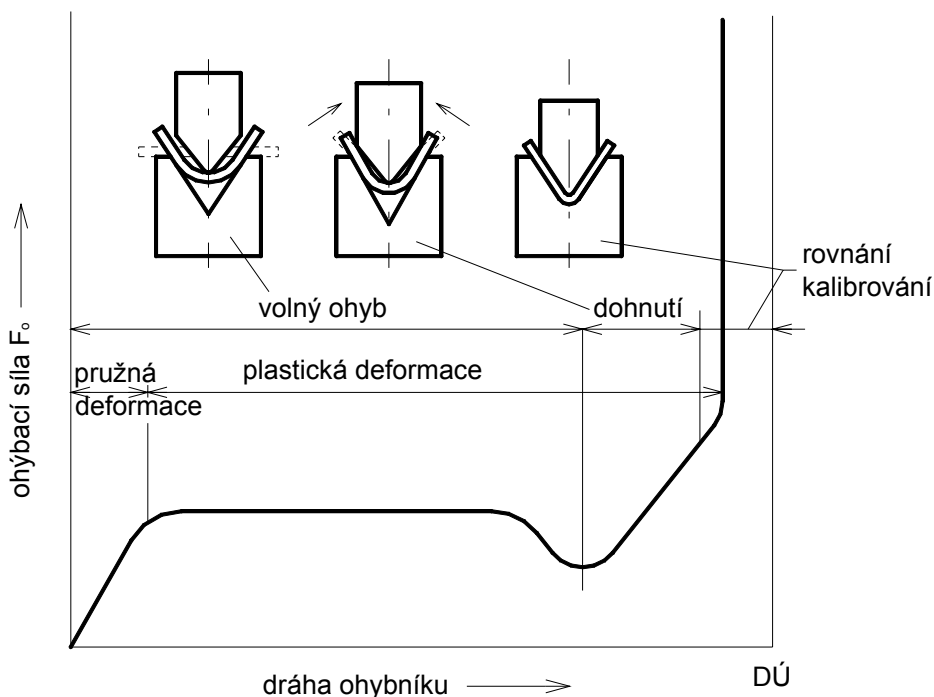
$$F_{O_{\max}} = F_O + 1,3 \cdot F_O + F_k \quad (4.15)$$

Ohýbací práce [3]:

$$A_o = m \cdot F_{o_{max}} \cdot h \quad (4.16)$$

kde:  $m$  – opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly [-], obr. 4.8,

$h$  – pracovní zdvih ohýbadla [mm]



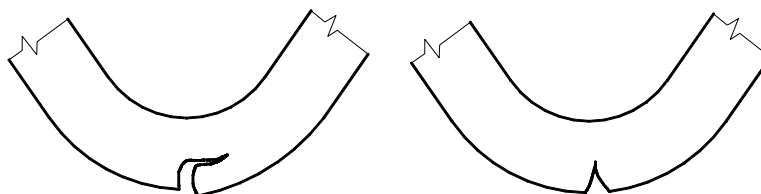
Obr. 4.8 Průběh ohýbací síly v závislosti na dráze ohybníku [3]

## 4.8 Technologické problémy ohýbání

Abychom dosáhli požadovaného tvaru ohýbané součásti, musíme zabránit vzniku mnoha vad, které doprovází technologii ohýbání. Jsou to především:

### 1. Praskání materiálu

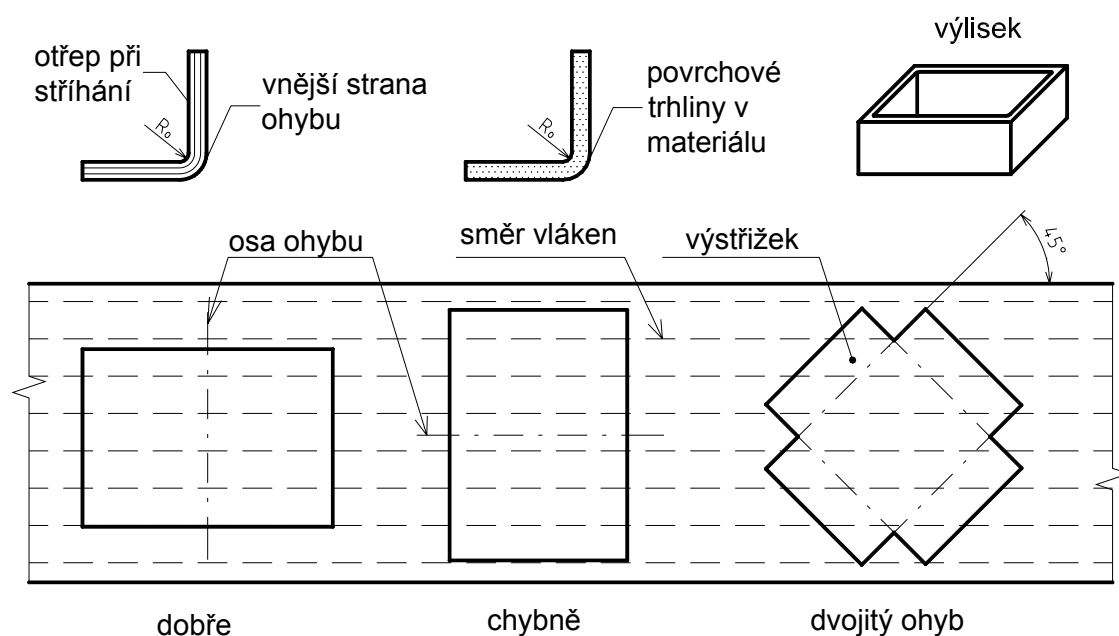
Vlivem zpevňování materiálu a zmenšování poloměru ohybu vzrůstají ve vnějších vrstvách tahová napětí. Při dosažení určité kritické hodnoty poloměru ohybu  $R/t$  se soudržnost materiálu poruší a v těchto vnějších vrstvách dojde ke vzniku trhlin probíhajících od vnějšího povrchu součástky do materiálu (obr. 4.9).



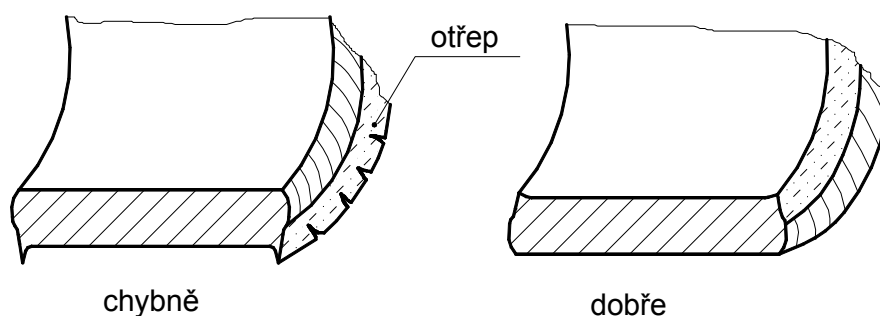
Obr. 4.9 Porušení materiálu při ohýbání [3]

Z hlediska tvorby trhlin je také velmi důležitý stav materiálu. Například u materiálu o stejné tloušťce, jenž je vyžíhaný, můžeme dosáhnout menšího poloměru ohybu než u materiálu zpevněného.

Průběh vláken materiálu daný válcováním je jedním z nejdůležitějších vlivů tvorby trhlin. Součástky z plechu by měly být orientovány tak, aby osa ohybu byla kolmá na směr vláken materiálu (odpružení je ale větší). Pokud tuto skutečnost nelze z různých důvodů dodržet, doporučuje se osu ohybu orientovat minimálně pod úhlem  $30^\circ$ . U dvojitého ohybu by měla vlákna materiálu svírat k ose ohybu úhel cca  $45^\circ$  (obr. 4.10). Jakékoliv nerovnosti, trhliny, pukliny, které leží v tahové oblasti ohybu, podporují praskání. Z tohoto důvodu musíme vystřižené polotovary ohýbat tak, aby tyto vady byly na vnitřní straně ohybu nebo je nutné je odstranit broušením (obr. 4.11). [1]



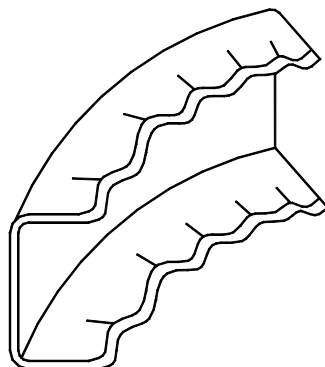
Obr. 4.10 Vliv směru vláken materiálu na ohýbání [9]



Obr. 4.11 Poloha otřepu při ohýbání [1]

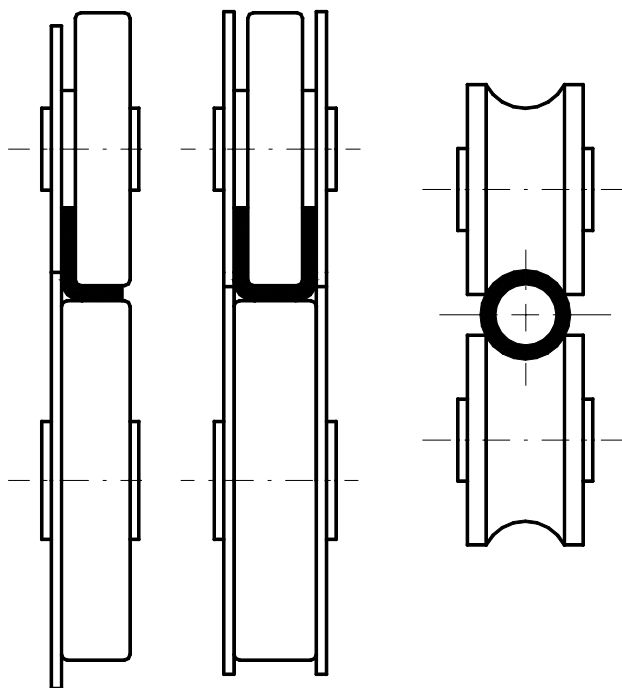
## 2. Tvoření vln

Při ohýbání tenkostěnných polotovarů se stěny v oblasti tlakových napětí mohou zvlnit (obr. 4.12). Tento jev nastává tehdy, když zkrácení délky stěny stlačením vyžaduje větší množství práce jako její zvlnění.



Obr. 4.12 Zvlnění profilu v průběh ohýbání [1]

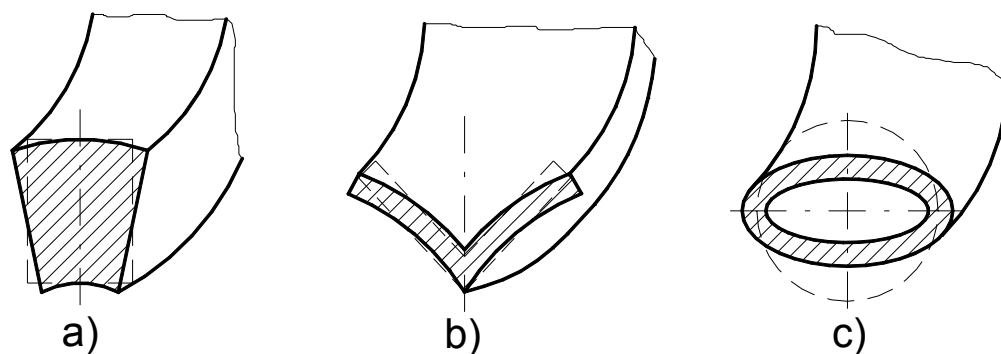
Tvoření vln je možné při ohybu zamezit použitím dodatečné podélné tahové síly při ohýbání nebo bočním přitlačením materiálu k nástroji. Další způsob se někdy používá při ohýbání ploch profilů na výšku. Při této technologii je tvářený dílec obklopen ze všech stran plochami nástroje. Tento způsob ohýbání se používá u strojových ohýbaček, kde výsledný profil se vytváří pomocí kladek. Podobně je možno ohýbat i profilovaný materiál, (obr. 4.13). Horní část je ohýbací, dole je jeden z podpěrných kotoučů. [1]



Obr. 4.13 Kotouče zakružovačky na profily [1]

### 3. Deformace příčného průřezu

Ohýbání často deformuje příčný průřez ohýbaného materiálu. Dochází ke zvětšování příčných rozměrů v oblasti tlakových napětí a zmenšování těchto rozměrů na straně tahového napětí. Při ohýbání tyčového materiálu obdélníkového průřezu se jeho příčný průřez mění z pravidelného čtyřúhelníka na lichoběžník (obr. 4.14a) a dodatečně se zakřivuje v příčném směru. K největším změnám tvaru průřezu dochází při ohýbání tenkostěnných profilů. Nastává přitom současně zmenšení tloušťky stěny profilu a také dochází k vybočení (obr. 4.14b). Velká deformace nastává zejména při volném ohybu trubek, u kterých se jejich příčný průřez zplošťuje (obr. 4.14c). [1]

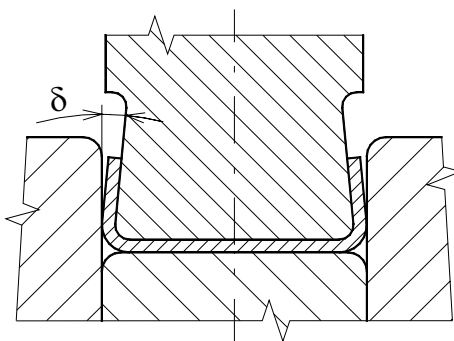


Obr. 4.14 Deformace příčného průřezu ohybem  
a – pravoúhlé tyče, b – úhelníka, c – trubky [1]

### 4. Odpružení

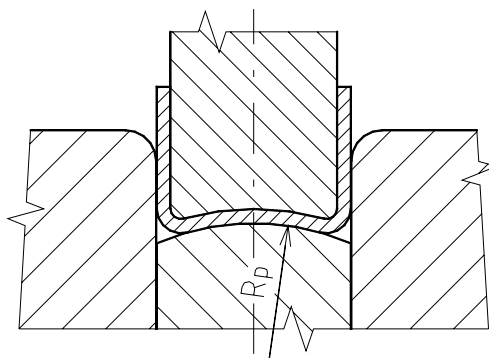
Jak už bylo řečeno, odpružení patří mezi technologické problémy ohýbání. Lze ho z procesu ohýbání vyloučit a to zejména: [1]

- a) podbroušením ohybníku o úhel  $\delta$  a vytvořením tzv. záporné vůle  $v_o = (0,8 \text{ až } 0,9) \cdot t$ , (obr. 4.15),



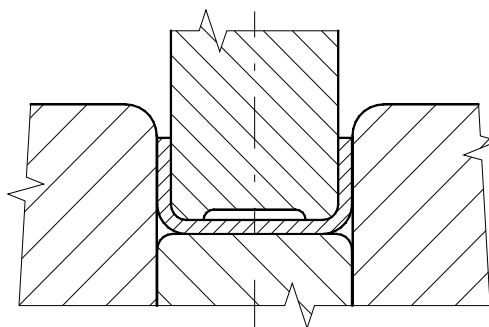
Obr. 4.15 Podbroušení ohybníku o úhel  $\delta$  [1]

- b) zaoblením dolní strany pohyblivé části nástroje a přidržovače poloměrem  $R_p$ , (obr. 4.16),



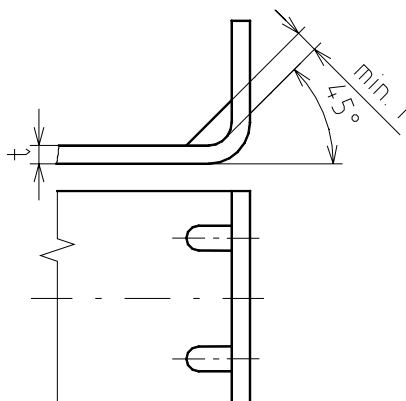
Obr. 4.16 Zaoblení dolní strany pohyblivé části nástroje a přidržovače poloměrem  $R_p$  [1]

- c) zpevněním materiálu v rozích kalibrací oblasti ohybu, (obr. 4.17),



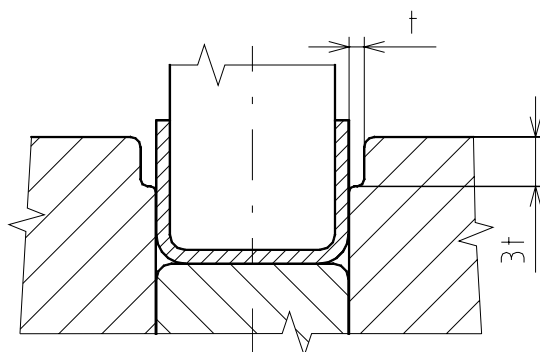
Obr. 4.17 Zpevnění materiálu v rozích kalibrací oblasti ohybu [1]

- d) vytvořením vyztužovacích žebër v místě ohybu, (obr. 4.18),



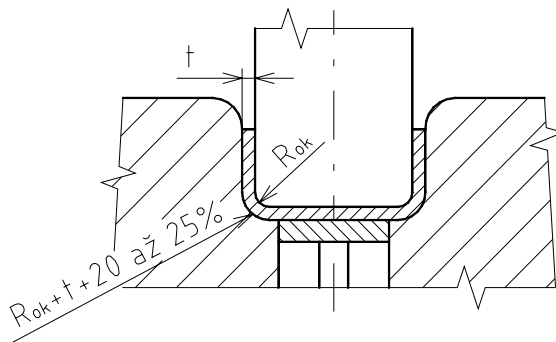
Obr. 4.18 Vytvoření vyztužovacích žebër v místě ohybu [1]

- e) postupným ohýbáním s odlehčením pevné části nástroje o cca hloubku materiálu, (obr. 4.19),



Obr. 4.19 Odlehčení pevné části nástroje o cca hloubku materiálu [1]

- f) zpevněním materiálu deformačním poloměrem pevné části nástroje, (obr. 4.20).



Obr. 4.15 Zpevnění materiálu deformačním poloměrem pevné části nástroje [1]

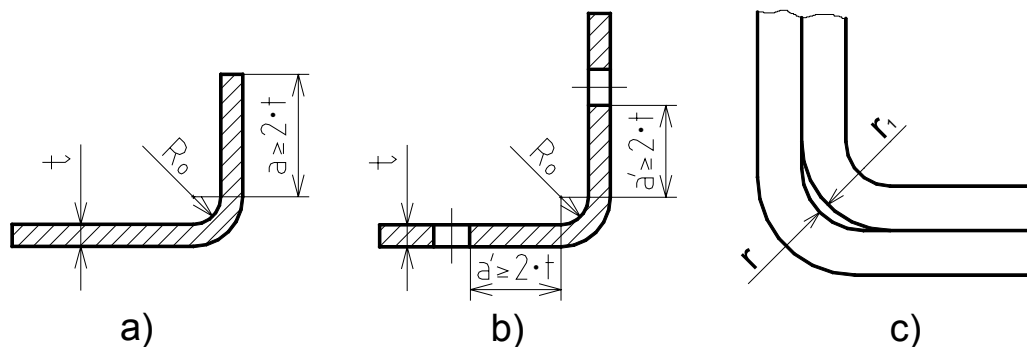
#### 4.9 Hlavní zásady při konstrukci ohýbadla

Při konstrukci ohýbadla je nutno dodržet tyto hlavní zásady: [12]

- poloměr ohybu volit pokud možno malý, aby se zmenšilo odpružení,
- brát v úvahu anizotropii plechu – průběh vláken vzhledem k umístění ohybu,
- nezmenšovat tolerance výlisků pod hranici, kterou je možno dosáhnout běžným způsobem,
- okraje polotovaru musí být v oblasti stříhu kolmé k ose ohybu, jinak dojde ke změně ohýbacího poloměru,
- ohyb nemá být umístěn na okraji materiálu, tzn. rameno musí mít určitou délku. Nejmenší délka ramene  $a$  má být rovna  $a = 2 \cdot t$  (obr. 4.21a). Při požadavku menší vzdálenosti je nutno rameno ohnout o délku  $a = 2 \cdot t$  a přebytek materiálu potom odstříhnout,
- nemají-li se konstrukční prvky, např. otvory, ohybem deformovat, musí být dostatečně daleko od osy ohybu, minimální vzdálenost okraje otvoru  $a'$  od

osy je  $a' = 2 \cdot t$  (obr. 4.21b). Pokud není možno tuto podmínku splnit, je nutno otvor zhotovit až po ohnutí součásti,

- g) součásti s poměrně velkými poloměry ohybu jsou málo tuhé, je nutno v místě ohybu součást vyztužit prolisy,
- h) při slisování dvou součástek musí být vnitřní poloměr vnější součásti  $r$  menší než vnější poloměr vnitřní součásti a to nejméně o 0,1 mm, (obr. 4.21c).



Obr. 4.21 Některé technologické zásady ohýbané součásti [10]

#### 4.10 Rozdělení technologie ohýbání podle způsobu pohybu nástroje vzhledem ke tvářenému materiálu

Technologii ohýbání lze rozdělit podle způsobu pohybu nástroje vzhledem ke tvářenému materiálu a to do dvou základních skupin:

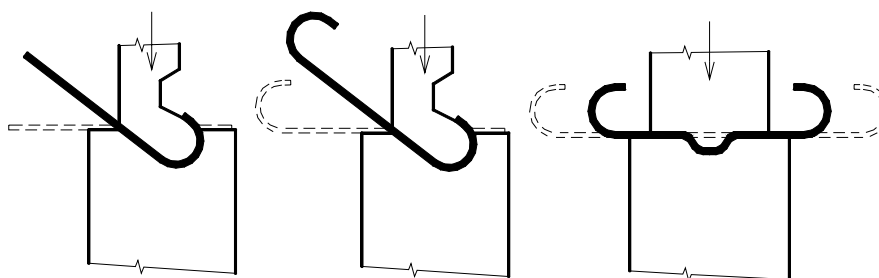
##### 1. Ohýbání na lisech

U tohoto způsobu ohýbání se materiál tváří v nástroji (ohýbadle), jehož pohyblivá část vykonává přímočaré vratné pohyby. Nástrojem může být např. i ohraňovadlo, lemovadlo aj. a to v závislosti na druhu technologické operace. Toto ohýbání se v průmyslové výrobě uskutečňuje na mechanických a hydraulických lisech nebo na speciálních ohýbacích strojích.

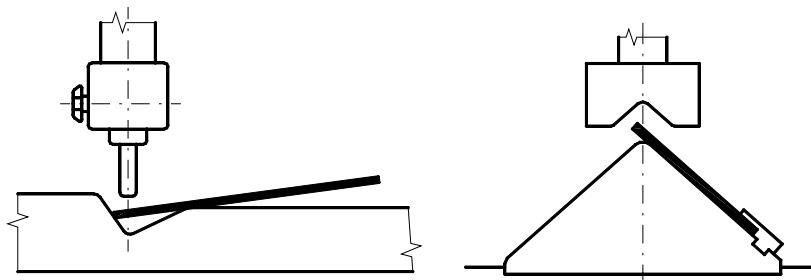
Ohýbání na lisech je možné vykonávat různými způsoby: [1]

- a) ohýbáním – směr pohybu pohyblivé části nástroje se přibližně shoduje se směrem osy úhlu tvořeného rameny ohnutého dílce,
- b) ohraňováním – tímto způsobem se vyrábí zejména různé profily (obr. 4.22), ale také se na ohraňovacím lisu provádí předohýbání, po kterém následuje operace zakružování na zakružovačkách (obr. 4.23),



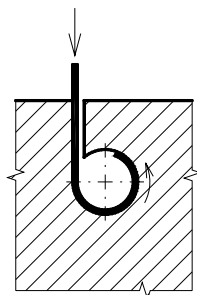


Obr. 4.22 Ohýbání profilu na ohraňovacím lisu [1]



Obr. 4.23 Předohýbání na ohraňovacím lisu před zakružováním [1]

c) zakružováním – na tvářený materiál se vyvíjí tlak, vyvolávající posunování plechu po zakřiveném povrchu pevné části nástroje (obr. 4.24) nebo se může zakružovat v obou částech nástroje,



Obr. 4.24 Schéma zakružování na lisu [1]

d) lemováním – obvykle se touto technologií vyztužuje okraj výlisku nebo se připravuje plech na vytvoření spoje.

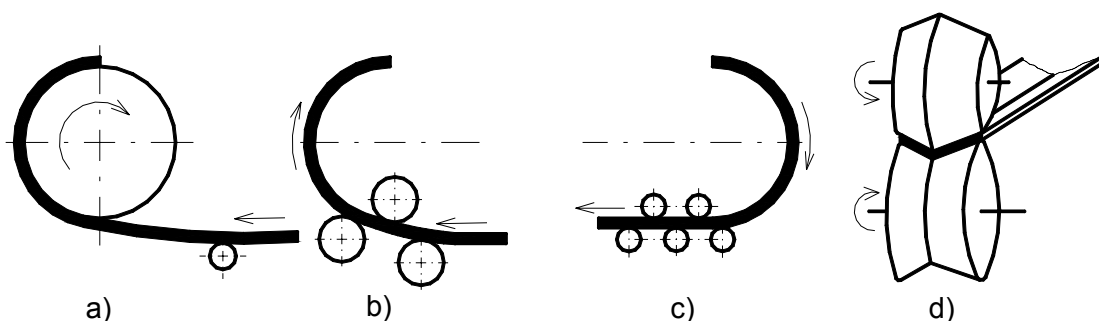
## 2. ohýbání pomocí válců

Nástrojem jsou samotné válce, které vykonávají otáčivý pohyb. Při ohýbání pomocí válců rozeznáváme podle polohy roviny ohybu vzhledem k osám válců tyto metody:

a) příčné válcování (obr. 4.25a,b,c) – rovina ohybu je kolmá k osám válců. Nejdůležitější technologické způsoby příčného válcování jsou navíjení (obr. 4.25a), kdy tvářený materiál se navíjí celou svou délkou na válec. Tato

technologie se vyskytuje při navíjení plechu do svitků při výrobě v hutích. Další způsob příčného válcování je zakružování pomocí válců (obr. 4.25b), které se používá při zpracování plechu na rotační tvary např. tlakových nádob nebo profilů různého druhu použití. Poslední způsob příčného válcování je rovnání válců (obr. 4.25c), které se používá za účelem rovnání plechu před jeho dalším zpracováním tvářením nebo jiným způsobem.

- b) podélné válcování (obr. 4.25d) – rovina ohybu prochází osami dvou válců s příslušným profilem. Vyskytuje se v hutích při výrobě tenkostěnných profilů, u kterých se zvyšuje význam výroby v souvislosti s růstem výroby plechu válcováním kontinuálním způsobem výroby. [1]



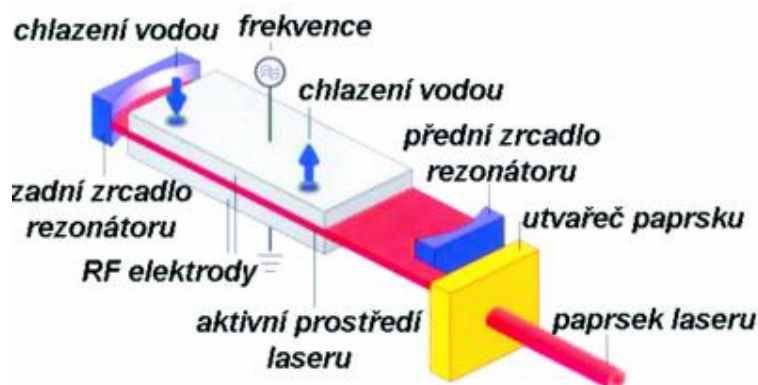
Obr. 4.25 Způsoby ohýbání válcováním [1]

## 5 VARIANTNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTÍ Z PLECHU

Při výrobě součástí z plechu se nemusíme spoléhat jen na plošné tváření, ale požadovaný tvar součásti můžeme docílit i těmito dalšími technologiemi, které vykazují dostatečnou opakovatelnou přesnost a jakost povrchu.

### 5.1 Řezání laserem

Laserem je dnes možné dělit materiál do tloušťky 20 mm i více. Řez je velmi přesný s malou tepelně ovlivněnou oblastí, cca 0,5 až 3 mm. Pro řezání materiálu se používají především CO<sub>2</sub> laser (obr. 5.1). Laserovým médiem u CO<sub>2</sub> laserů je směs plynů CO<sub>2</sub>, He a N<sub>2</sub>. Ve vakuovém prostředí dochází k přeměně elektrické energie (vysokonapětový výboj) pomocí směsi plynů na laserové světlo. Oscilace laserového světla mezi dvěma nebo více zrcadly, tzv. optický rezonátor, mnohonásobně laserové záření zesílí a na výstupu dostáváme vysoce výkonný paprsek. CO<sub>2</sub> laser emituje infračervené záření s vlnovou délkou 10,6  $\mu$ m. Laserový paprsek je generován rychlým průtokem laserových plynů do rezonátoru a následným vysokonapětovým výbojem o proměnlivé frekvenci 0 až 2,5 kHz. Působením soustředěné energie laserového paprsku je řezaný materiál buď taven a řezná spára je průběžně "profukována" asistenčním inertním plynem, nejčastěji dusíkem, tzv. tavné řezání (čisté nezoxidované lesklé řezy) nebo taven a zároveň spalován kyslíkem coby asistenčním plynem při tzv. oxidačním řezání (řezy s patrnou stopou oxidace), případně je taven a odpařován, tzv. řezání sublimační. [20,21]



Obr. 5.1 Princip CO<sub>2</sub> laseru [20]

## 5.2 Řezání vodním paprskem

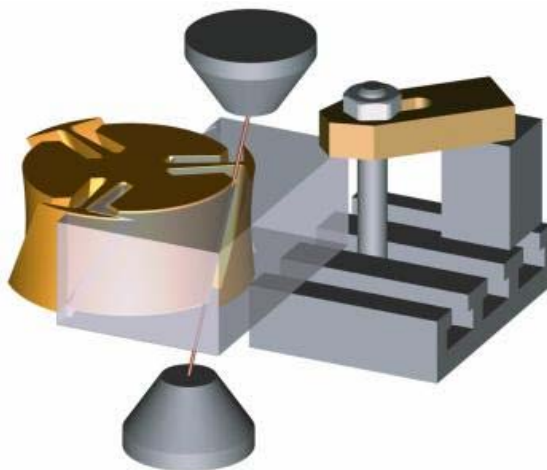
Technologii řezání vodním paprskem lze využít pro dělení nejrůznějších materiálů, například ocelí (konstrukčních, legovaných, tepelně zpracovaných, s extrémní tvrdostí), slitin hliníku, titanu, mědi, niklu apod., sklolaminátu, kompozitů, plastů, mramoru, žuly, pískovce, dlažby, skla, plexiskla, těsnících a pěnových materiálů, podlahových krytin, aj. od tloušťky fólií až po desky silné cca 200 mm. Pro vysokotlaký paprsek není problém jakýkoliv řez v ploše, limitující je pouze pevnost samotného řezaného materiálu (musí unést sám sebe). Její princip zjednodušeně spočívá v obrušování děleného materiálu abrazivními částicemi nesenými kapalinovým paprskem o tlaku v rozmezí 500 až 4150 bar. Tlak vody generuje vysokotlaké čerpadlo, odkud je tlaková voda vedena k řezací hlavě umístěné na portálu CNC řízeného stolu. Opakovatelná přesnost výsledných produktů je od  $\pm 0,1$  do 0,4 mm. I přes vysoký pracovní tlak je silové působení na materiál minimální. Při dělení nevznikají mikrotrhliny ani mikropnutí. Chladný řez tepelně neovlivňuje materiál. Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní případy je třeba použít abrazivní paprsek. U měkkých materiálů (proces bez abraziva) je prořez o velikosti od 0,07 mm, u ostatních materiálů od 0,8 mm.[22]

## 5.3 Elektroerozivní obrábění (řezání drátovou elektrodou)

Princip této metody spočívá v úběru materiálu elektrickými výboji mezi anodou (nejčastěji ji tvoří nástrojová elektroda) a katodou (nejčastěji ji tvoří obrobek) ponořenými do tekutého dielektrika, což je většinou kapalina s vysokým elektrickým odporem. Elektroerozi podléhají všechny elektricky vodivé materiály. Vhodným zapojením a volbou pracovních parametrů elektrického obvodu lze dosáhnout dvou druhů výbojů: oblouk, tj. stacionární výboj a jiskra, tj. nestacionární výboj. Výboje probíhají mezi elektrodami ve vzdálenosti 5 až 100  $\mu\text{m}$ . Intenzita působení výboje závisí na elektrických parametrech výboje, vzdálenosti mezi elektrodami, znečištění a vodivosti dielektrika. Elektroerozivní obrábění se používá pro hloubení dutin zápusťek a forem, výrobu složitých tvarových povrchů, řezání drátovou elektrodou, leštění povrchů, výrobu malých otvorů (mikroděrování) a elektrokontaktní obrábění.

Řezání drátovou elektrodou umožňuje vyrábět plochy rozličných tvarů tvořící křivku. Nástrojovou elektrodu tvoří tenký drát, mezi nímž a obrobkem vznikají elektrické výboje. Aby se předešlo jeho nadměrnému opotřebení, odvíjí se pomocí speciálního napínacího mechanismu. Drát je většinou měděný, pro větší průměry se používá mosazný a na velmi jemné řezy molybdenový o průměru 0,03 až 0,07 mm. Nástrojová elektroda tvořená drátem je nástroj, který může odebírat materiál v každém směru a ve spojení s vhodným řídicím systémem je možné přesně obrábět i velmi složité tvary. Systém umožňuje naklopení nástrojové elektrody vzhledem ke svislé ose v rozsahu  $\pm 30^\circ$ . Pro zajištění automatizovaného procesu obrábění jsou moderní stroje vybaveny automatickým vrtáním díry pro zavedení drátu, automatickým zavedením drátu na počátku práce do vyvrtané díry a adaptivním řízením. Automatického provozu bez obsluhy se dosahuje po dobu až 80 hodin.

Přesnost vyřezaných tvarů je dána vlastnostmi stroje, přesností vedení a napnutí drátu, přesností a spolehlivostí CNC řídicího systému, stabilitou nastavených pracovních parametrů generátoru a kvalitou přívodu a čištění dielektrika. Je důležité, aby nástrojová elektroda vstupovala do místa řezání dokonale napnutá a vyrovnaná. Při řezání drátovou elektrodou lze dosáhnout: maximálního úběru materiálu  $35 \text{ až } 200 \text{ mm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$ , rovnoběžnosti řezu do  $2 \text{ } \mu\text{m}$  na 100 mm, jakosti obrobeného povrchu  $R_a = 0,15 \text{ až } 0,3 \text{ } \mu\text{m}$ . Přesnost rozměrů a tvaru obrobeného povrchu závisí na tepelné stabilizaci stroje. Při kolísání teploty  $\pm 3^\circ\text{C}$  je přesnost  $4 \text{ } \mu\text{m}$ , při kolísání teploty  $\pm 1^\circ\text{C}$  je odchylka  $1 \text{ } \mu\text{m}$ , maximální tloušťka řezaného materiálu dosahuje 350 mm. [23]



Obr. 5.2 Řezání drátovou elektrodou [23]

## 6 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

Součást „Táhlo zadní“ má být zhotovena z ocelového plechu 11 320.21 o tloušťce 3 mm v sérii 75 000 kusů za rok. Jeho výrobu je možno uskutečnit mnoha technologiemi. Aby byla vybrána ta nejvhodnější, je třeba zohlednit hodně hledisek a to např. tvar a rozměry součásti, druh materiálu, velikost série, ekonomičnost výroby, ale také strojovou vybavenost dílny, kde se bude eventuálně součást vyrábět.

Jako výrobní technologie z oblasti obrábění, tj. operace frézování a to jak rovinné tak tvarové, operace vrtání popř. vyhrubování, vystružování, jsou krajně nevýhodné. Těmito použitými technologiemi by se značně zvýšil nejen čas výrobní, ale i vedlejší, počet pracovníků a v neposlední řadě i počet strojů. Všechny tyto vlivy by se nám podepsaly na konečné ceně výrobku. Proto budeme dále uvažovat, spolu s technologiemi uvedenými v kapitole 5, následující technologie jako varianty technologie výroby součásti:

### **Varianta 1 – Výroba dvěma nástroji**

Součást se vyrobí samostatně ve dvou nástrojích. Nejprve po nadělení tabule plechu na pásy a jeho zavedení do střížného nástroje dojde k přesnému vystřížení rozvinutého tvaru součásti a následně bude vystřížený polotovar přemístěn do ohýbacího nástroje, kde dojde k ohnutí na požadovaný tvar. Potom se hotová součást odmastí a zkontroluje.

### **Varianta 2 – Výroba sdruženým nástrojem**

Výroba součásti se uskuteční v jednom sdruženém nástroji pro přesné stříhání a ohýbání. Po zavedení patřičně širokého pásu plechu naděleného z tabule do nástroje dojde k přesnému děrování a vystřížení rozvinutého tvaru součásti, poté se výstřížek přemístí do prostoru ohybu, kde se ohne na požadovaný tvar, vše se uskuteční na jeden zdvih. Potom se hotová součást odmastí a zkontroluje.

V dalších variantách mohou být místo střížného nástroje (pro děrování a vystřihování) použity následující technologie.

## 6.1 Výběr optimální technologie výroby součásti

Jeden z nejdůležitějších faktorů, který ovlivňuje rozhodování o výrobní technologii, je velikost požadované série, jenž činí 75 000 kusů za rok. Všemi variantami výroby, které jsou uvedeny v kapitolách 5.1, 5.2, 5.3 je možno docílit kvalitních výstřižků s požadovanou přesností a jakostí střížné plochy. Tyto popsané technologie, kromě technologie přesného stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji nebo samostatně ve dvou nástrojích, jsou vhodné spíše pro kusovou nebo malosériovou výrobu.

Pokud budeme porovnávat výrobu součásti dvěma nástroji (varianta 1) s výrobou ve sdruženém nástroji (varianta 2), musíme mít na mysli nejen velikost série, ale i technicko – ekonomické parametry, jako např.: jakost střížné plochy (požadovaná drsnost otvorů je  $R_a = 0,8 \mu\text{m}$ ), počet potřebných strojů, počet pracovníků, délka výrobního (popř. mezioperačního času), manipulace s materiálem, cena nástroje, složitost a délka vývoje nástroje, atd.

Vzhledem k počtu 75 000 kusů součásti, které se mají vyrobit, složitosti a dlouhému vývoji sdruženého nástroje, se součást bude vyrábět dvěma jednoduššími nástroji, samostatně pro přesné stříhání a pro ohýbání.

## 6.2 Zpracování vybrané varianty

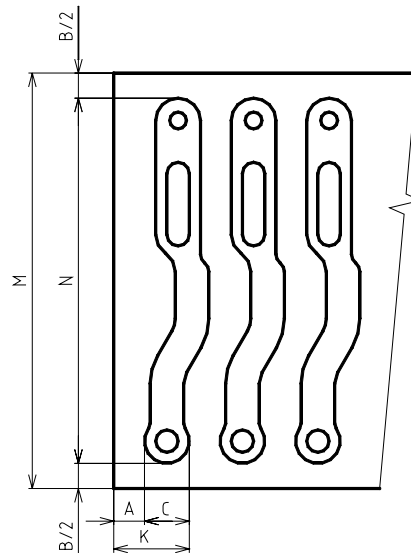
Nyní bude zpracována vybraná varianta technologie přesného stříhání a ohýbání ve dvou samostatných nástrojích pro součást táhlo zadní. Jako výchozí polotovar bude s ohledem na výrobní sérii použita tabule plechu o rozměrech 3 x 1000 x 2000, která bude dále nadělena na pásy.

### 6.2.1 Varianty nástřihových plánů

Ke stanovení velikosti postranního odpadu B a šířky můstku A bude použit příslušný diagram (viz příloha 4). Velikosti těchto rozměrů závisí na tvaru výstřižku, jeho uspořádání a především tloušťce plechu, velikosti a vzdálenosti tlačné hrany od střížné hrany. U každé varianty nástřihového plánu bude zohledněna orientace součásti vzhledem k směru vláken pásu plechu tak, aby osa následného ohybu byla kolmá na směr průběhu vláken.

**Varianta 1**

Rozvinutá délka součásti bude orientována na pásu plechu dle obr. 6.1 a aby byl vhodně orientován směr vláken, tabule plechu bude nadělena příčně na délku 1000 mm.



Obr. 6.1 Nástřihový plán 1. varianty

Délka kroku:

$$K = A + C$$

$$K = 5,5 + 8$$

$$K = 13,5 \text{ mm}$$

Šířka stříhaného pásu plechu:

$$M = N + B/2 + B/2$$

$$M = 65,5 + 4,5 + 4,5$$

$$M = 74,5 \text{ mm}$$

Počet pásů z 1 tabule plechu:

$$P_P = \text{šířka tabule} / \text{šířka pásu}$$

$$P_P = 2000 / 74,5$$

$$\underline{P_P} = 26,85 \Rightarrow \underline{26 \text{ pásů}}$$

Počet kusů z 1 pásu:

$$P_K = \text{délka pruhu} / \text{délka kroku}$$

$$P_K = 1000 / 13,5$$

$$\underline{P_K} = 74,10 \Rightarrow \underline{74 \text{ kusů}}$$



Počet kusů z celé tabule plechu:

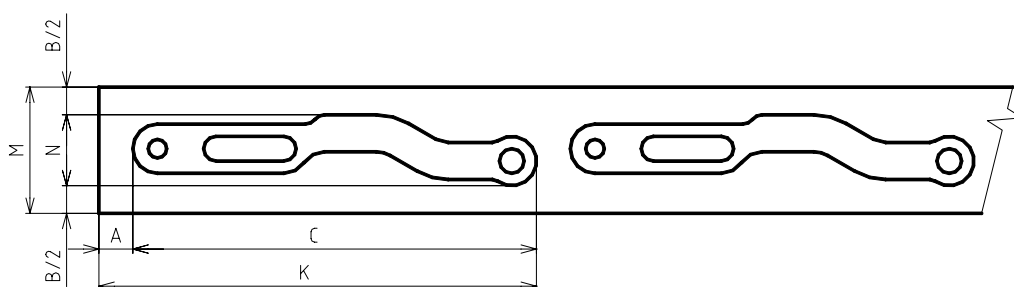
$$\sum P_K = P_P \cdot P_K$$

$$\sum P_K = 26 \cdot 74$$

$$\sum P_K = \underline{1924 \text{ ks}}$$

### Varianta 2

Rozvinutá délka součásti bude orientována na pásu plechu dle obr. 6.2 a aby byl vhodně orientován směr vláken, tabule plechu bude nadělena podélně na délku 2000 mm.



Obr. 6.2 Nástřihový plán 2. varianty

Délka kroku:

$$K = A + C$$

$$K = 5,5 + 65,5$$

$$K = 71,0 \text{ mm}$$

Šířka stříhaného pásu plechu:

$$M = N + B/2 + B/2$$

$$M = 11,5 + 4,5 + 4,5$$

$$M = 20,5 \text{ mm}$$

Počet pásů z 1 tabule plechu:

$$P_P = \text{šířka tabule} / \text{šířka pásu}$$

$$P_P = 1000 / 20,5$$

$$P_P = 48,78 \Rightarrow \underline{48 \text{ pásů}}$$

Počet kusů z 1 pásu:

$$P_K = \text{délka pruhu} / \text{délka kroku}$$

$$P_K = 2000 / 71,0$$

$$P_K = 28,17 \Rightarrow \underline{28 \text{ kusů}}$$

Počet kusů z celé tabule plechu:

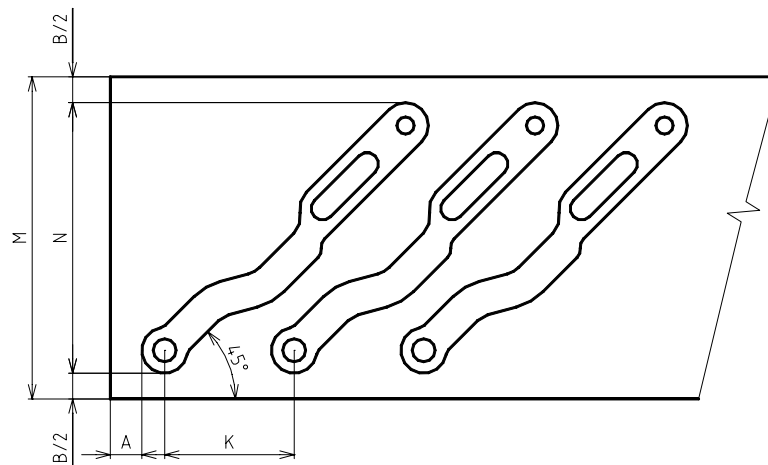
$$\sum P_K = P_P \cdot P_K$$

$$\sum P_K = 48 \cdot 28$$

$$\sum P_K = \underline{1344 \text{ ks}}$$

### Varianta 3

Rozvinutá délka součásti bude orientována na pásu plechu dle obr. 6.3 a tabule plechu bude nadělena podélně na délku 2000 mm.



Obr. 6.3 Nástřihový plán 3. varianty

Délka kroku:

$$K = 22,63 \text{ mm (odměřeno pomocí programu AutoCad)}$$

Šířka stříhaného pásu plechu:

$$M = N + B/2 + B/2$$

$$M = 47,25 + 4,5 + 4,5$$

$$M = 56,25 \text{ mm}$$

Počet pásů z 1 tabule plechu:

$$P_P = \text{šířka tabule} / \text{šířka pásu}$$

$$P_P = 1000 / 56,25$$

$$\underline{P_P} = 17,78 \Rightarrow \underline{17 \text{ pásů}}$$

Počet kusů z 1 pásu:

$$P_K = \text{délka pruhu} / \text{délka kroku}$$

$$P_K = 2000 / 22,63$$

$$\underline{P_K} = 88,38 \Rightarrow \text{skutečný počet kusů je } \underline{85} \text{ díky naklonění součásti o } 45^\circ$$

Počet kusů z celé tabule plechu:

$$\sum P_K = P_P \cdot P_K$$

$$\sum P_K = 17 \cdot 85$$

$$\sum P_K = \underline{1445 \text{ ks}}$$

#### Varianta 4

Rozvinutá délka součásti bude orientována na pásu plechu také dle obr. 6.3 a tabule plechu bude nadělena příčně na délku 1000 mm.

Délka kroku:

$K = 22,63 \text{ mm}$  (odměřeno pomocí programu AutoCad)

Šířka stříhaného pásu plechu:

$M = 56,25 \text{ mm}$

Počet pásů z 1 tabule plechu:

$P_P = \text{šířka tabule} / \text{šířka pásu}$

$$P_P = 2000 / 56,25$$

$$\underline{P_P} = 35,55 \Rightarrow \underline{35 \text{ pásů}}$$

Počet kusů z 1 pásu:

$P_K = \text{délka pruhu} / \text{délka kroku}$

$$P_K = 1000 / 22,63$$

$$\underline{P_K} = 44,19 \Rightarrow \text{skutečný počet kusů je } \underline{41} \text{ díky naklonění součásti o } 45^\circ$$

Počet kusů z celé tabule plechu:

$$\sum P_K = P_P \cdot P_K$$

$$\sum P_K = 35 \cdot 41$$

$$\sum P_K = \underline{1435 \text{ ks}}$$

#### 6.2.2 Koeficient využití materiálu

Pro následné výpočty budou použity vypočtené hodnoty z kapitoly 6.2.1.

Výpočet využití pásu plechu:

$$\eta_p = \frac{P_K \cdot S_V}{S_p} \cdot 100 \quad (6.1)$$

Výpočet využití tabule plechu:

$$\eta_t = \frac{P_K \cdot S_V \cdot P_P}{S_t} \cdot 100 \quad (6.2)$$

Pozn.: Číselné indexy u jednotlivých veličin při výpočtu využitelnosti materiálu odpovídají číselným označením variant nástřihového plánu z předcházející kapitoly.

$$\eta_{p1} = \frac{P_{K1} \cdot S_V}{S_{p1}} \cdot 100 = \frac{74 \cdot 450,15}{74,5 \cdot 1000} \cdot 100 = 0,4471 \cdot 100 = \underline{44,71\%}$$

$$\eta_{t1} = \frac{P_{K1} \cdot S_V \cdot P_{P1}}{S_t} \cdot 100 = \frac{74 \cdot 450,15 \cdot 26}{2 \cdot 10^6} \cdot 100 = 0,4330 \cdot 100 = \underline{43,30\%}$$

$$\eta_{p2} = \frac{P_{K2} \cdot S_V}{S_{p2}} \cdot 100 = \frac{28 \cdot 450,15}{20,5 \cdot 2000} \cdot 100 = 0,3074 \cdot 100 = \underline{30,74\%}$$

$$\eta_{t2} = \frac{P_{K2} \cdot S_V \cdot P_{P2}}{S_t} \cdot 100 = \frac{28 \cdot 450,15 \cdot 48}{2 \cdot 10^6} \cdot 100 = 0,3025 \cdot 100 = \underline{30,25\%}$$

$$\eta_{p3} = \frac{P_{K3} \cdot S_V}{S_{p3}} \cdot 100 = \frac{85 \cdot 450,15}{56,25 \cdot 2000} \cdot 100 = 0,3440 \cdot 100 = \underline{34,40\%}$$

$$\eta_{t3} = \frac{P_{K3} \cdot S_V \cdot P_{P3}}{S_t} \cdot 100 = \frac{85 \cdot 450,15 \cdot 17}{2 \cdot 10^6} \cdot 100 = 0,3225 \cdot 100 = \underline{32,25\%}$$

$$\eta_{p4} = \frac{P_{K4} \cdot S_V}{S_{p4}} \cdot 100 = \frac{41 \cdot 450,15}{56,25 \cdot 1000} \cdot 100 = 0,3285 \cdot 100 = \underline{32,81\%}$$

$$\eta_{t4} = \frac{P_{K4} \cdot S_V \cdot P_{P4}}{S_t} \cdot 100 = \frac{41 \cdot 450,15 \cdot 35}{2 \cdot 10^6} \cdot 100 = 0,3230 \cdot 100 = \underline{32,30\%}$$

### Hodnocení

Z variant, které byly propočteny, bude vybrána ta, jež vykáže nejlepší využitelnost materiálu a zároveň bude splňovat kritérium jednoduchosti a ekonomičnosti řešení. Bude tedy vybrána varianta 1, která nejlépe splňuje výše uvedená kritéria.

**6.2.3 Technologické výpočty**

Poloměr neutrální plochy:

$$\rho = R_0 + \frac{t}{2} \cdot z_z \cdot z_r$$

$$\rho = 2 + \frac{3}{2} \cdot 0,94 \cdot 1,01$$

$$\rho = 3,424 \text{ mm}$$

Délka ohnuté části:

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho$$

$$\gamma = 180^\circ - \alpha$$

$$l_0 = \frac{\pi \cdot 45}{180} \cdot 3,424$$

$$\gamma = 180^\circ - 135^\circ$$

$$\gamma = 45^\circ$$

$$l_0 = 2,688 \text{ mm}$$

Celková délka rozvinutého polotovaru (délky úseků  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  odměřeny z výkresu součásti pomocí programu AutoCad):

$$l_c = l_1 + 2 \cdot l_0 + l_2 + l_3$$

$$l_c = 32 + 2 \cdot 2,688 + 0,53 + 27,6$$

$$l_c = 65,50 \text{ mm}$$

Minimální poloměr ohybu (osa ohybu je kolmá na směr vláken pásu plechu):

$$R_{Omin} = k_3 \cdot t$$

$$R_{Omin} = 0,55 \cdot 3$$

$$R_{Omin} = 1,65 \text{ mm}$$

Maximální poloměr ohybu:

$$R_{Omax} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right)$$

$$R_{Omax} = \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{2,1 \cdot 10^5}{310} - 1 \right)$$

$$R_{Omax} = 1014,63 \text{ mm}$$

Požadovaná hodnota poloměru ohybu ( $R = 2 \text{ mm}$ ) je v rozmezí minimálního a maximálního poloměru ohybu, tudíž daný materiál z tohoto hlediska vyhovuje.

Odpružení:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{c_3 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E}$$

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{7,5}{0,55 \cdot 3} \cdot \frac{310}{2,1 \cdot 10^5}$$

$$\beta = 0,14^\circ$$

Hodnota odpružení je tak malá, že ji můžeme zanedbat.

Plocha součásti (hodnota  $S_c$  odměřena pomocí programu AutoCad):

$$S = S_c - S_{\phi 3} - S_{\text{drážky}} - S_{\phi 4}$$

$$S = 450,15 - \pi \cdot 1,5^2 - (\pi \cdot 2^2 + 11 \cdot 4) - \pi \cdot 2^2$$

$$S = 373,94 \text{ mm}^2$$

Obvod stříhu (hodnota  $o_c$  odměřena pomocí programu AutoCad):

$$l_s = o_c + o_{\phi 3} + o_{\text{drážky}} + o_{\phi 4}$$

$$l_s = 144,25 + \pi \cdot 3 + \left( 2 \cdot 11 + 2 \cdot \frac{\pi \cdot 4}{2} \right) + \pi \cdot 4$$

$$l_s = 200,81 \text{ mm}$$

### **Celková síla potřebná ke zhotovení součásti**

Střížná síla:

$$F_s = l_s \cdot t \cdot \tau_s$$

$$F_s = 200,81 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 390$$

$$F_s = 187\,958 \text{ N}$$

Síla přidržovače:

$$F_p = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h_t$$

$$F_p = 4 \cdot 390 \cdot 157,33 \cdot 0,45$$

$$F_p = 110\,446 \text{ N}$$

Síla vyhazovače:

$$F_v = S \cdot p_v$$

$$F_v = 373,94 \cdot 100$$

$$F_v = 37\,394 \text{ N}$$

Celková střižná síla:

$$F_c = F_s + F_p + F_v$$

$$F_c = 187\,958 + 110\,446 + 37\,394$$

$$F_c = 335\,978 \text{ N}$$

Ohýbací síla:

$$F_o = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon_c) \cdot b \cdot t^2 \cdot R_e}{3 \cdot l}$$

$$F_o = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot 0,4762) \cdot 6 \cdot 3^2 \cdot 310}{3 \cdot 7,5}$$

$$F_o = 2\,501,3 \text{ N}$$

$$\varepsilon_c = \frac{t}{2 \cdot R_{\min} + t}$$

$$\varepsilon_c = \frac{3}{2 \cdot 1,65 + 3}$$

$$\varepsilon_c = 0,4762$$

Celková síla potřebná ke zhotovení součásti:

$$F = F_c + F_o$$

$$F = 335\,978 + 2\,501,3$$

$$F = 338\,479,3 \text{ N}$$

**Celková práce potřebná ke zhotovení součásti**

Střižná práce:

$$A_s = s_s \cdot \frac{l_s \cdot t^2 \cdot R_m}{10^3}$$

$$A_s = 0,48 \cdot \frac{200,81 \cdot 3^2 \cdot 390}{10^3}$$

$$A_s = 338,32 \text{ J}$$

Práce přidržovače:

$$A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h_t^2}{10^3}$$

$$A_p = \frac{2 \cdot 390 \cdot 157,33 \cdot 0,45^2}{10^3}$$

$$A_p = 24,85 \text{ J}$$

Práce vyhazovače:

$$A_v = \frac{S \cdot p_v \cdot t}{10^3}$$

$$A_v = \frac{373,94 \cdot 100 \cdot 3}{10^3}$$

$$A_v = 112,18 \text{ J}$$

Celková střižná práce:

$$A_c = A_s + A_p + A_v$$

$$A_c = 338,32 + 24,85 + 112,18$$

$$A_c = 475,35 \text{ J}$$

Ohýbací práce:

$$A_o = m \cdot F_{Omax} \cdot h_p$$

$$A_o = 0,66 \cdot 5753 \cdot 0,0025$$

$$A_o = 9,49 \text{ J}$$

$$F_{Omax} = F_o + 1,3 \cdot F_o$$

$$F_{Omax} = 2501,3 + 1,3 \cdot 2501,3$$

$$F_{Omax} = 5753 \text{ N}$$

Celková práce potřebná ke zhotovení součásti:

$$A_z = A_c + A_o$$

$$A_z = 475,35 + 9,49$$

$$A_z = 484,84 \text{ J}$$

#### 6.2.4 Konstrukční výpočty

##### Střižná vůle

Střižná vůle pro přesné stříhání se dá určit dvěma způsoby. Můžeme ji určit z předpokladu, že střižná vůle je rovna 0,5% tloušťky materiálu, což odpovídá  $v = 0,015 \text{ mm}$  nebo z empirického vzorce pro  $t \leq 3 \text{ mm}$ :

$$v = 2 \cdot z$$

$$v = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\frac{F_c}{S_s}}$$

$$v = 7 \cdot 10^{-4} \cdot 3 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\frac{335\,978}{3 \cdot 200,81}}$$

$$v = 0,0159 \text{ mm}$$

Střižná vůle bude tedy zvolena 0,016 mm, tzn. střižná mezera  $z = 0,008 \text{ mm}$ .

##### Tlačná hrana

Rozměry tlačné hrany pro tloušťku stříhaného materiálu 3 mm byly stanoveny z tabulky hodnot pro tlačnou hranu (viz. příloha 6):

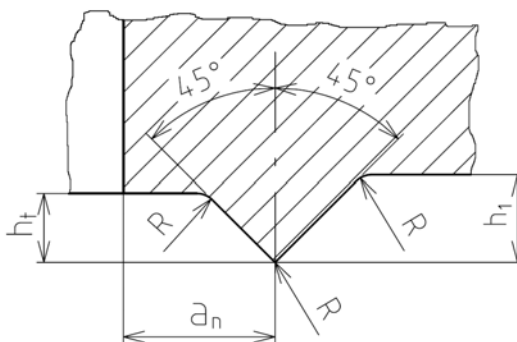


Výška tlačné hrany:  $h_t = 0,45 \text{ mm}$   
 $h_1 = 0,5 \text{ mm}$

Vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu:  $a_n = 2,1 \text{ mm}$

Poloměr zaoblení:  $R = 0,09 \text{ mm}$

Délka tlačné hrany odměřená pomocí programu AutoCad:  $L_h = 157,33 \text{ mm}$



Obr. 6.4 Tlačná hrana

### 6.2.5 Kontrolní výpočty

#### Kontrolní výpočet minimální tloušťky střížnice

Skutečná výška střížnice [11] musí být větší než výška určená dle vzorce:

$$H_{\min} = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_s} \quad (6.3)$$

$$H_{\min} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 187\,958}$$

$$H_{\min} = 26,59 \text{ mm}$$

Výška střížnice musí být tedy větší než 26,59 mm.

#### Kontrolní výpočet střížníku na otlačení

Kontrolní výpočet tlakového napětí na čele střížníku bude proveden pro nejmenší průměr střížníku 3 mm kvůli jeho největšímu namáhání a to dle vzorce:

$$\sigma = \frac{F_{\Phi 3}}{S_{\Phi 3}} = \frac{\pi \cdot d \cdot t \cdot \tau_s}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{\pi \cdot 3 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 390}{\frac{\pi \cdot 3^2}{4}} = 1248 \text{ MPa}$$

Tlakové napětí na čele střížníku by nemělo přesáhnout hodnotu 2000 MPa. Protože vypočtené napětí je nižší, můžeme říci, že střížník z tohoto hlediska vyhovuje.

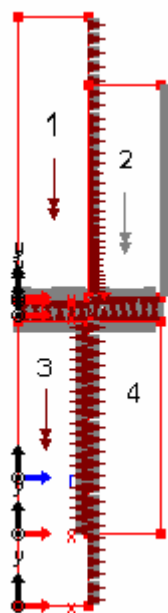
### 6.3 Počítačová simulace procesu stříhání

Stále významnějším podpurným nástrojem se v technické praxi stává počítačová simulace, která díky svým vlastnostem umožňuje předcházet chybám a minimalizovat rizika chybných rozhodnutí. Pomocí simulačního programu může člověk modelováním tzn. „napodobováním“ reálného stavu dosáhnout, buď stavu, který již existuje, nebo stavu, který chceme vytvořit pro dosažení našich cílů.

Jedním z těchto simulačních programů je program FormFEM, jenž pracuje na principu metody konečných prvků. Důvod použití tohoto simulačního programu tkví v tom, že dokáže stanovit vliv tlačné hrany na oblast stříhu. Tím bude ověřena správná geometrie a funkce tlačné hrany. Pomocí tohoto programu, do kterého byly jako vstupy zadány informace o konfiguraci a silovém působení soustavy, druhu a tloušťce stříhaného materiálu, geometrii tlačné hrany a také, že bylo použito mazivo, byly v jednotlivých fázích tvářecího procesu v oblasti kolem tlačné hrany a místa stříhu zjištěny hodnoty:

- velikost kontaktního tlaku,
- velikost přetvoření a rychlosti přetvoření,
- velikost středního napětí.

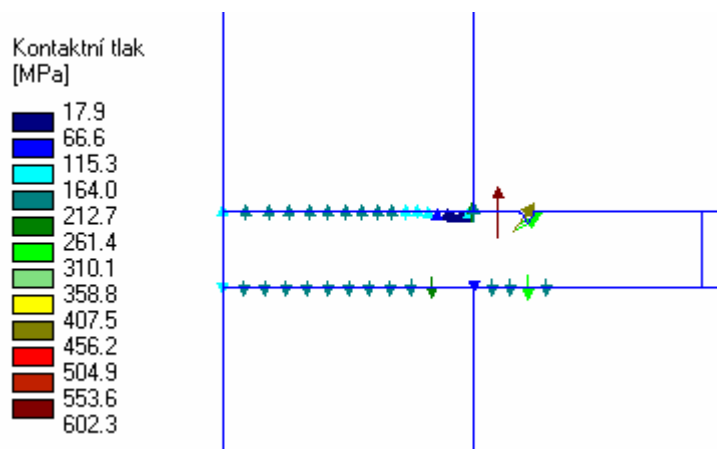
#### 6.3.1 Výstup simulace



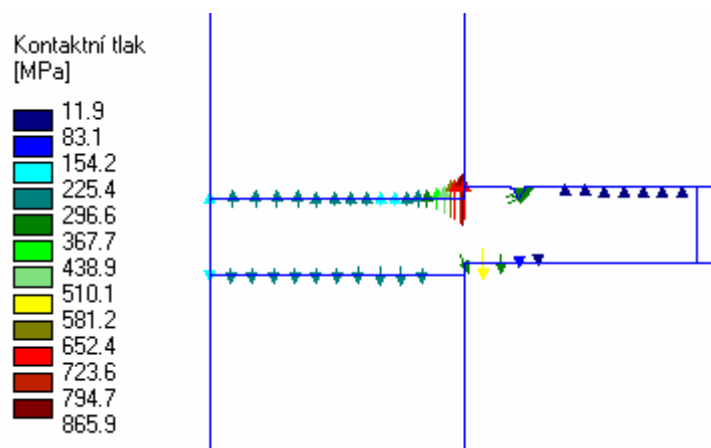
Obr. 6.5 Úvodní konfigurace

1 – střížník, 2 – přidržovač s tlačnou hranou, 3 – vyhazovač, 4 – střížnice

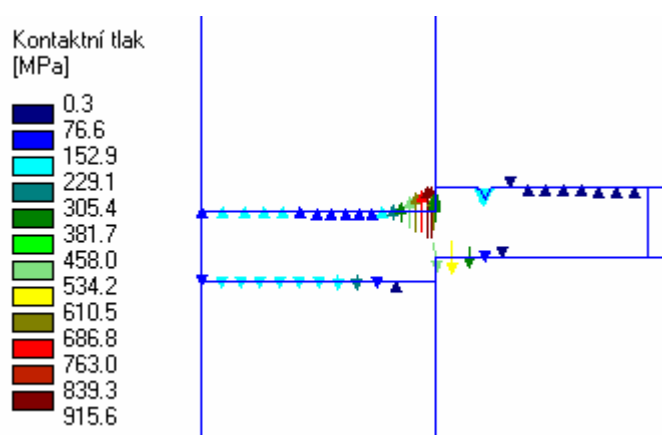
### Velikost kontaktního tlaku



Obr. 6.6 Velikost kontaktního tlaku po dosednutí funkčních částí nástroje

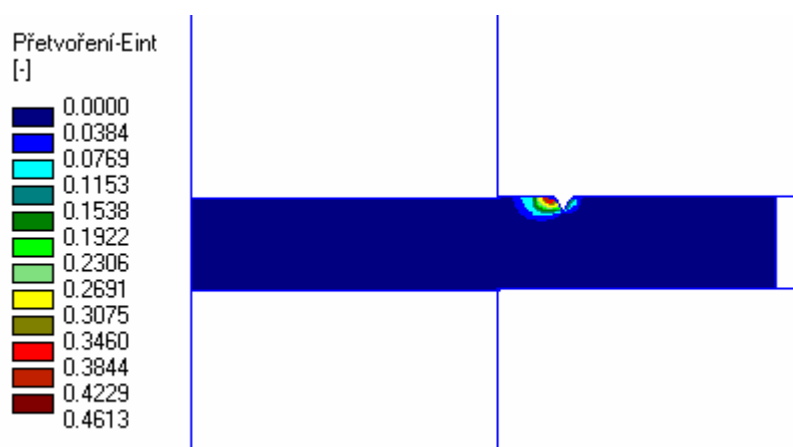


Obr. 6.7 Velikost kontaktního tlaku při počátku střížného procesu

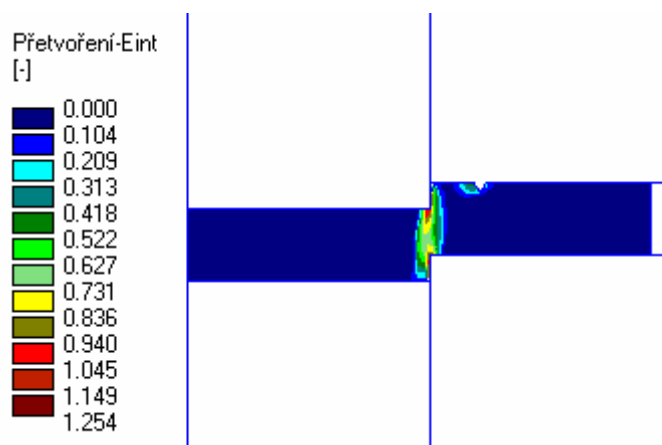


Obr. 6.8 Velikost kontaktního tlaku v průběhu střížného procesu

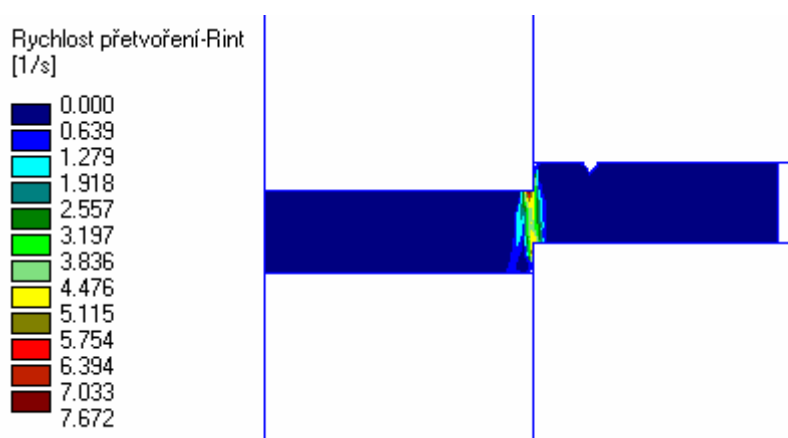
Největší hodnoty kontaktního tlaku byly zjištěny na střížných hranách a vůbec největší hodnota na střížné hraně střížníku.

**Velikost přetvoření**

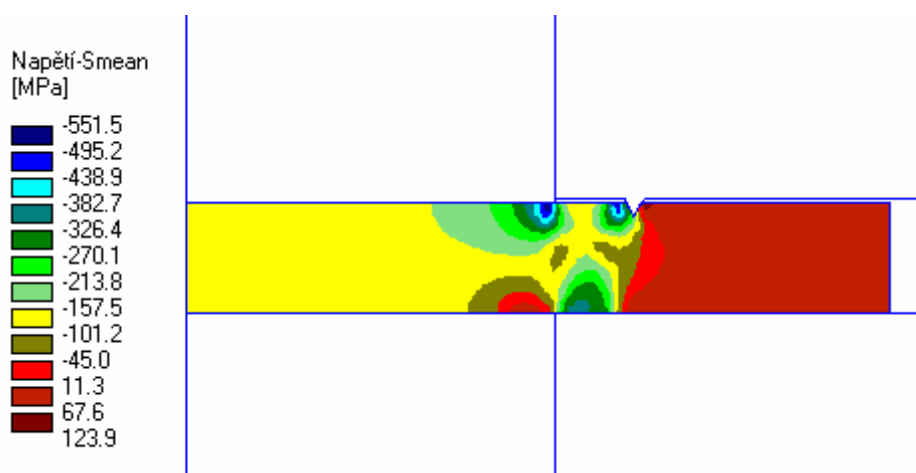
Obr. 6.9 Velikost přetvoření po dosednutí funkčních částí nástroje



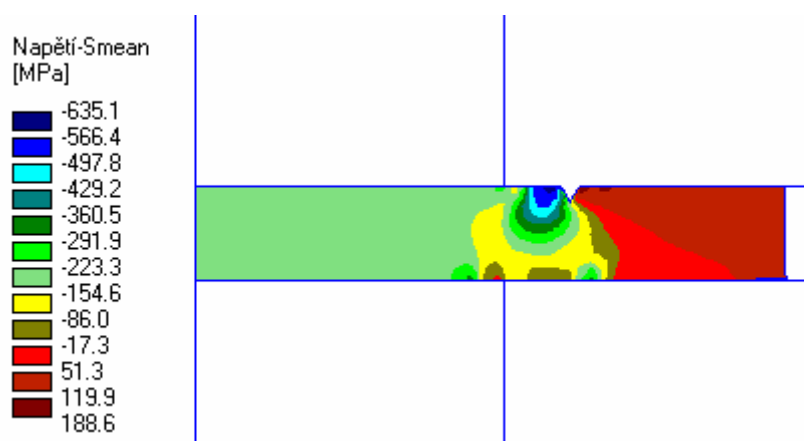
Obr. 6.10 Velikost přetvoření v průběhu střížného procesu

**Velikost rychlosti přetvoření**

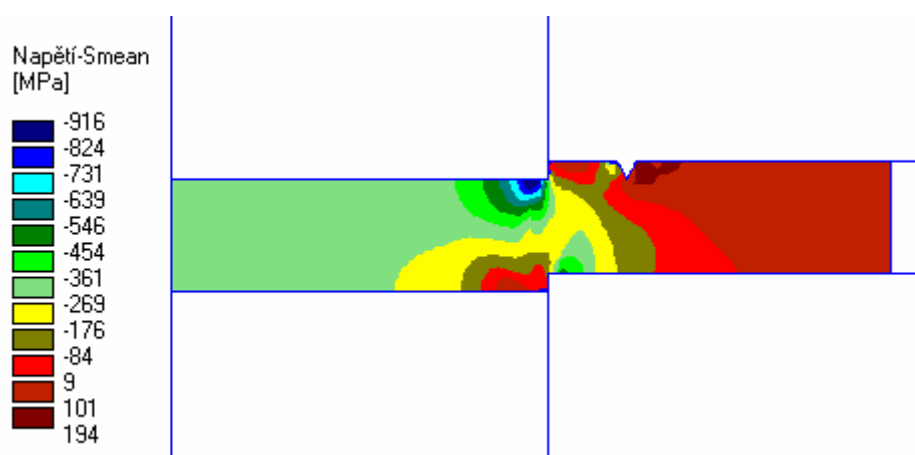
Obr. 6.11 Velikost rychlosti přetvoření v průběhu střížného procesu

**Velikost středního napětí**

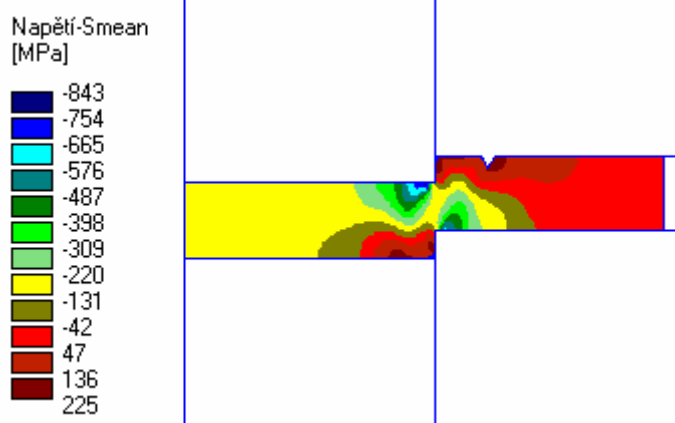
Obr. 6.12 Velikost středního napětí v okamžiku zaboření tlačné hrany



Obr. 6.13 Velikost středního napětí po dosednutí funkčních částí nástroje



Obr. 6.14 Velikost středního napětí při počátku střížného procesu



Obr. 6.15 Velikost středního napětí v průběhu střížného procesu

Simulace odhalila, že tlačná hrana způsobuje tlakové napětí v místě stříhu (hnědá a cihlová barva) a zamezuje tím možnost předčasného oddělení materiálu, které podporuje napětí tahové (zelená a žlutá barva), jenž se koncentruje pod střížníkem a i v oblasti stříhu, kde případné trhliny, dle teoretických poznatků, uzavírá záporná hodnota složky normálního napětí –  $\sigma_n$ .

## 6.4 Návrh výrobních strojů

Při návrhu stroje, na kterém se bude zadaná součást vyrábět, vycházíme z toho, jakou celkovou, střížnou, přidržovací a vyhazovací sílu potřebujeme k tomu, abychom danou součást vyrobili. Tyto síly byly stanoveny v kapitole 6.2.3. Také si musíme uvědomit, že nemůžeme použít stroj, jenž má jmenovitou sílu těsně se blížící k nám potřebné síle, protože se může stát, že na malý okamžik můžeme v extrémních podmínkách překročit vypočtenou sílu a tím přetížit a posléze poškodit stroj. Je tedy nutné, aby navrhovaný stroj byl patřičně silově předimenzován. Silová rezerva se volí podle zkušeností a hlavně podle toho, jaký stroj máme v dílně k dispozici.

Přesné vystřížení součásti se provede na lisu MFA 1600 od firmy Feintool. Jeho hlavní technické parametry jsou následující: [24]

celková síla	1600 kN
zdvih beranu	20 – 62 mm
instalační výška nástroje	210 – 335 mm
rozměry horního upínacího stolu	560 x 560 mm
rozměry dolního upínacího stolu	560 x 600 mm



Obr. 6.5 Lis pro přesné stříhání Feintool MFA 1600 [24]

Ohyb součásti se provede na excentrickém lisu LE 160D od firmy Šmeral. Jeho hlavní technické parametry jsou následující: [25]

tvářecí síla	1600 kN
zdvih	20 – 120 mm
sevření	330 mm
velikost stolu	1000 x 720 mm



Obr. 6.6 Lis LE 160 D [25]

Dělení tabule plechu se provede na hydraulických tabulových nůžkách ESPE CNTA 3150/6,3. Jejich hlavní technické parametry jsou tyto: [26]

délka stříhu	3150 mm
maximální tloušťka děleného materiálu	6,3 mm
el. nastavitelný zadní doraz	



Obr. 6.7 Tabulové nůžky ESPE CNTA 3150/6,3 [26]

## 6.5 Návrh střížného a ohýbacího nástroje

Pro vystřížení dané součásti je navržen nástroj pro přesné stříhání s pohyblivým střížníkem a pevným přidržovačem (viz. výkres č. DP-5O65-09/00). Jeho podrobný popis vystihuje kapitola 3.9.2. Vystřihování vnějšího tvaru součásti i děrování otvorů probíhá současně na jednom výstřižku, a tedy každý zdvih stroje odpovídá jednomu hotovému výstřižku. Krok a vedení pásu plechu zajišťuje systém dvou synchronních podavačů pracujících na principu, jeden pás plechu tlačí, druhý táhne. Mezi pracovním prostorem nástroje a podavačem dochází k mazání plechu, aby se snížil měrný tlak na bocích střížníků a otvoru střížnice. Důležité je také vzájemné seřízení stroje a nástroje, kdy při střížném procesu může být střížník zasunut do otvoru střížnice pouze 0,1 mm. Při větších hodnotách by docházelo k nadměrnému opotřebení funkčních částí nástroje. Nakonec po vystřížení součásti a rozevření nástroje dojde k odstranění odpadu a samotného výstřižku stlačeným vzduchem přiváděným do pracovního prostoru tryskami.

Pro ohnutí součásti je navržen nástroj (viz. výkres č. DP-5O65-09/07), kde výstřižek se nasadí na dva kolíky, tím se přesně ustaví a následně ohne.

## 6.6 Rámcový technologický postup

Následující tabulka 6.1 znázorňuje rámcový technologický postup, kterým se výroba součásti „táhlo zadní“ bude řídit.



Tab. 6.1 Rámcový technologický postup součásti „táhlo zadní“

Číslo operace	Popis operace	Poznámka – stroj
1	dělení tabule plechu 2000x1000 na pásy 74,5 x 1000 mm	tabulové nůžky ESPE CNTA 3150/6,3
2	zavedení pásu plechu do podavače zajišťující krok	podavač PA Industries: systém tah – tlak
3	mazání pásu plechu	mazací zařízení je součástí stroje MFA 1600, olej: WISURA ZO 3190
4	vystřížení rozvinuté délky součásti	lis MFA 1600 od firmy Feintool
5	ohnutí výstřížku	lis LE 160 D od firmy Šmeral
6	odmaštění hotové součásti	10% vodní roztok prostředku Keboclean VZS při teplotě 25°C
7	kontrola	30%
8	balení a expedice	

## 7 TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

V této části diplomové práce bude pomocí kalkulace úplných nákladů stanovena orientační cena výlisku a také hranice počtu kusů, nad kterou začne být výroba rentabilní při zvoleném způsobu výroby variantou 1 (viz kap. 6.2.1).

### Vstupní hodnoty

Výrobní množství:  $Q = 75\,000$  ks/rok

Dílenské režie:	- jednicové mzdy	JM = 100 %
	- výrobní režie	VR = 437 %
	- správní režie	SR = 112 %
	- ostatní přímé náklady	OPN = 21 %

Zpracovatelská režie:  $ZR = JM + VR + SR + OPN$

$$ZR = 100 + 437 + 112 + 21$$

$$\underline{ZR = 670 \%}$$

### 7.1 Přímé náklady

#### 7.1.1 Náklady na materiál

Výpočet spotřeby tabulí plechu:

$$P_T = \frac{Q}{\sum P_K}$$

$$\underline{P_T} = \frac{75\,000}{1924} = 38,98 \Rightarrow \underline{39 \text{ ks tabulí}}$$

Cena 1 kg plechu 11 320 (ekvivalentní označení dle DIN 1614/1-74: St 22, dle ISO 17/12N49-69: Cr 01) je 31,7 Kč (viz. ceník Feron a.s. ze dne 20. 4. 2009). Vypočteme tedy hmotnost jedné tabule plechu  $m_t$  a následně hmotnost potřebných tabulí  $\sum m_T$  a náklady na materiál  $N_m$ .

Hmotnost jedné tabule plechu:

$$m_T = \rho_o \cdot t \cdot d_T \cdot \check{s}$$

$$m_T = 7\,850 \cdot 0,003 \cdot 2 \cdot 1$$

$$\underline{m_T = 47,1 \text{ kg}}$$

Hmotnost všech tabulí:

$$\sum m_T = P_T \cdot m_T$$

$$\sum m_T = 39 \cdot 47,1$$

$$\underline{\sum m_T = 1\,836,9 \text{ kg}}$$

Náklady na materiál (kde: p – cena 1 kg materiálu):

$$N_M = \sum m_T \cdot p$$

$$N_M = 1836,9 \cdot 37,1$$

$$\underline{N_M = 58\,230 \text{ Kč}}$$

Pozn.: Cena odpadu kvůli její nízké ceně není ve výpočtu uvažována.

### 7.1.2 Náklady na mzdy

Výrobu součásti zajišťují celkem 3 pracovníci (obsluha tabulových nůžek, obsluha lisu na přesné stříhání a obsluha lisu na ohýbání). Průměrná hodinová mzda  $m_H$  byla u všech pracovníků stanovena dle statistických hodnot úřadu práce pro I. čtvrtletí 2009 a činí 110 Kč/hod.

#### Náklady na obsluhu tabulových nůžek

$$\underline{N_{MZ1}} = (t_{A1} + t_{B1}) \cdot m_H = (2,82 + 2,4) \cdot 110 = \underline{574 \text{ Kč}}$$

$$\text{čas práce tabul. nůžek: } t_{A1} = \frac{P_P \cdot P_T}{z_{d1} \cdot 60} = \frac{26 \cdot 39}{6 \cdot 60} = 2,82 \text{ hod}$$

kde:  $z_{d1}$  – počet zdvihů tabulových nůžek ESPE CNTA 3150/6,3 [ $\text{min}^{-1}$ ]

čas dávkový (je v něm zahrnut čas seřízení stroje, čas zavedení tabule plechu, čas manipulace s nastříhanými pásy a odpadem):

$$t_{B1} = 2,4 \text{ hod}$$

#### Náklady na obsluhu lisu na přesné stříhání

$$\underline{N_{MZ2}} = (t_{A2} + t_{B2}) \cdot m_H = (125 + 6,5) \cdot 110 = \underline{14\,465 \text{ Kč}}$$

$$\text{čas práce lisu MFA 1600: } t_{A2} = \frac{Q}{z_{d2} \cdot 60} = \frac{75\,000}{10 \cdot 60} = 125 \text{ hod}$$

kde:  $z_{d2}$  – počet zdvihů lisu MFA 1600 [ $\text{min}^{-1}$ ]

čas dávkový (je v něm zahrnut čas seřízení a oprav stroje, čas upnutí a seřízení nástroje, čas manipulace s vystřiženým polotovarem):

$$t_{B2} = 6,5 \text{ hod}$$

### Náklady na obsluhu lisu na ohýbání

$$N_{MZ3} = (t_{A3} + t_{B3}) \cdot m_H = (156,25 + 6,5) \cdot 110 = \underline{17\,903 \text{ Kč}}$$

čas práce lisu LE 160 D:  $t_{A3} = \frac{Q}{z_{d3} \cdot 60} = \frac{75\,000}{8 \cdot 60} = 156,25 \text{ hod}$

kde:  $z_{d3}$  – počet zdvihů lisu LE 160 D [ $\text{min}^{-1}$ ]

čas dávkový (je v něm zahrnut čas seřízení a oprav stroje, čas upnutí a seřízení nástroje, čas manipulace s vystřiženým polotovarem):

$$t_{B3} = 6,5 \text{ hod}$$

### Celkové náklady na mzdy

$$N_{MZC} = N_{MZ1} + N_{MZ2} + N_{MZ3}$$

$$N_{MZC} = 574 + 14\,465 + 17\,903$$

$$\underline{N_{MZC} = 32\,942 \text{ Kč}}$$

### 7.1.3 Náklady na stroje

Výrobního procesu se účastní 3 stroje (tabulové nůžky a dva lisy).

#### Náklady na tabulové nůžky

$$N_{S1} = t_{A1} \cdot N_{hs1} = 2,82 \cdot 800 = \underline{2\,256 \text{ Kč}}$$

kde:  $N_{hs1}$  – strojní hodinová sazba tabulových nůžek [ $\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$ ]

#### Náklady na lis MFA 1600

$$N_{S2} = t_{A2} \cdot N_{hs2} = 125 \cdot 1200 = \underline{150\,000 \text{ Kč}}$$

kde:  $N_{hs2}$  – strojní hodinová sazba lisu MFA 1600 [ $\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$ ]

#### Náklady na lis LE 160 D

$$N_{S3} = t_{A3} \cdot N_{hs3} = 156,25 \cdot 1000 = \underline{156\,250 \text{ Kč}}$$

kde:  $N_{hs3}$  – strojní hodinová sazba lisu LE 160 D [ $\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$ ]

**Celkové náklady na stroje**

$$N_{SC} = N_{S1} + N_{S2} + N_{S3}$$

$$N_{SC} = 2256 + 150\,000 + 156\,250$$

$$\underline{\underline{N_{SC} = 308\,506 \text{ Kč}}}$$

**7.1.4 Celkové přímé náklady**

$$N_P = N_M + N_{MZO} + N_{SC}$$

$$N_P = 58\,230 + 32\,942 + 308\,506$$

$$\underline{\underline{N_P = 399\,678 \text{ Kč}}}$$

**Přímé náklady na 1 kus**

$$N_{P1} = \frac{N_P}{Q} = \frac{399\,687}{75\,000} = 5,33 \text{ Kč}$$

**7.2 Nepřímé náklady**

$$N_{Ne} = \frac{N_P \cdot (VR + SR)}{100} = \frac{399\,687 \cdot (437 + 112)}{100} = \underline{\underline{219\,428 \text{ Kč}}}$$

**7.3 Variabilní náklady**

$$VN = N_P + N_{Ne} = 399\,678 + 219\,428 = \underline{\underline{259\,396 \text{ Kč}}}$$

**Variabilní náklady na 1 ks**

$$VN_1 = \frac{VN}{Q} = \frac{259\,396}{75\,000} = 34,6 \text{ Kč}$$

**7.4 Fixní náklady****7.4.1 Náklady na nástroje**

Tab. 7.1 Tabulka hodnot pro výpočet nákladů na nástroje

nástroj	pracnost [Nh]	tarifní stupeň
pro přesné stříhání	450	5
pro ohýbání	230	5

**Náklady na mzdy** $N_{MN} = \text{pracnost} \cdot \text{hodinová mzda}$ 

$$N_{MN} = (450 + 230) \cdot 90$$

$$\underline{N_{MN} = 61\,200 \text{ Kč}}$$

**Režijní náklady**

$$RN = N_{MN} \cdot ZR$$

$$RN = 61\,200 \cdot 6,7$$

$$\underline{RN = 410\,040 \text{ Kč}}$$

**Cena materiálu nástrojů**

$$\underline{C_{MN} = 7\,500 \text{ Kč}}$$

**Celkové náklady na nástroje**

$$N_N = (N_{MN} + RN + C_{MN}) \cdot \text{zisk}$$

$$N_N = (61\,200 + 410\,040 + 7\,500) \cdot 1,15$$

$$\underline{\underline{N_N = 550\,551 \text{ Kč}}}$$

**7.4.2 Ostatní fixní náklady**

$$\underline{FN_O = 4\,700\,000 \text{ Kč}}$$

**7.4.3 Celkové fixní náklady**

$$FN_C = N_N + FN_O$$

$$FN_C = 550\,551 + 4\,700\,000$$

$$\underline{\underline{FN_C = 5\,250\,551 \text{ Kč}}}$$

**7.5 Celkové náklady**

$$N_C = VN + FN_C$$

$$N_C = 2593960 + 5250551$$

$$\underline{\underline{N_C = 7844511 \text{ Kč}}}$$

**Celkové náklady na 1 ks**

$$N_{C1} = \frac{N_C}{Q} = \frac{7844511}{75000} = 104,6 \text{ Kč}$$

## 7.6 Cena výlisku

Pozn.: uvažovaný zisk je ve výši 18%.

$$C_V = N_{C1} \cdot 1,18$$

$$C_V = 104,6 \cdot 1,18$$

$$\underline{\underline{C_V = 123,4 \text{ Kč}}}$$

## 7.7 Bod zvratu

$$Q_{BZ} = \frac{FN_C}{C_V - VN_1}$$

$$Q_{BZ} = \frac{5250551}{123,4 - 34,6}$$

$$\underline{\underline{Q_{BZ} = 59128 \text{ ks}}}$$

Při dané sériovosti výroby 75 000 ks/rok se při výše uvedených nákladech začne tvořit zisk nad hranicí 59 128 vyrobených potažmo prodaných součástí. Pod touto hranicí by byla výroba ztrátová.

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce, primárně zaměřené na technologii přesného stříhání s tlačnou hranou, bylo navrhnout vhodnou technologii výroby nové součásti TÁHLO ZADNÍ z oceli 11320.21 v sérii 75 000 ks/rok.

Nejprve je zjištěno, pomocí rozboru technologičnosti tvaru a výroby součásti, že daná součást je vyrobitelná technologií přesného stříhání.

Poté následuje teoretická část práce, kde je podrobně popsána technologie přesného stříhání s porovnáním s konvenčním stříháním, technologie ohýbání a také jsou naznačeny možné nekonvenční metody výroby součásti.

Kapitola návrh technologie výroby součásti začíná výběrem optimální varianty výroby. Součást se tedy bude vyrábět dvěma nástroji, nástrojem pro přesné stříhání a nástrojem pro následné ohnutí. Dále je propočteno několik variant nástřihových plánů a z hlediska procentuálního využití materiálu vybrána nejvýhodnější varianta, která je dále podrobně zpracována. Je určen tvar a velikost polotovaru, kterým jsou pásy plechu nadělené z tabule, počet, druh a návaznost operací, velikost tvářecích sil a přetvárné práce, vypočtena vůle, stanovena geometrie a poloha tlačné hrany. Správná funkce tlačné hrany je ověřena pomocí simulačního programu FORMFEM, kde je dokázána existence tlakového napětí v oblasti stříhu. Dle velikosti tvářecích sil je určen vhodný typ tvářecího stroje a to pro přesný stříh lis MFA 1600, pro ohyb lis LE 160 D. Dále jsou navrhnuty dva tvářecí nástroje; sloučený nástroj pro přesné stříhání typu pohyblivý střižník, pevný přidržovač a nástroj ohýbací, jejichž výkresová dokumentace tvoří část přílohy.

V závěrečné kapitole je provedena kalkulace úplných nákladů, pomocí které je vypočtena konečná cena výrobku, jenž činí 123,40 Kč a kritická velikost série 59 128 kusů, nad kterou se výroba začne vyplácet.

Přínos této diplomové práce spočívá v navržení technologie výroby pro novou součást TÁHLO ZADNÍ.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. BLAŠČÍK, F. a kolektiv. *Technologia tvárnenia, zlievárenstva a zvarania*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1988. 832 s. ISBN 063-563-87.
2. BŘEZINA, R. a ČADA R. *Speciální technologie- technologie tváření*. 1. vyd. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1992. 257 s. ISBN 80-7078-122-X.
3. DVOŘÁK, M. a kolektiv. *Technologie II*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 238 s. ISBN 80-214-2032-4.
4. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a NOVOTNÝ, K. *Technologie tváření plošné a objemové tváření*. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. DVOŘÁK, M., GAJDOŠ, F. a ŽÁK, L. *Technologie tváření návody do cvičení*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
6. FOREJT, M. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
7. FREMUNT, P. a PODRÁBSKÝ, T. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 1996. 261 s. ISBN 80-85867-95-8.
8. GUIDI, A. *Přistřihování a přesné stříhání*. Mnichov: Nakladatelství Carl Hansen Verlag, 1965.
9. KOLEKTIV AUTORŮ. *Lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1971. 544 s. ISBN 04-234-71.
10. KOTOUČ, J., ŠANOVEC, J., ČERMÁK, J. a MÁDLE, L. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
11. NOVOTNÝ, J. a LANGER, Z. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, n. p., 1980. 216 s.
12. NOVOTNÝ, K. *Nástroje a přípravky část 1 – tváření*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985. 182 s.
13. NOVOTNÝ, K. a MACHÁČEK, Z. *Speciální technologie I – plošné a objemové tváření*. 2.vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 171 s. ISBN 80-214-0404-3.
14. ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. 540 s. 56/III8(E1).

15. SCHULER. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998. 563 p. ISBN 3-540-61185-1.
16. TOMÁNEK Jiří. *Návrh technologie výroby série „ÚHELNÍK“*. Bakalářská práce v oboru „Strojírenská technologie – tváření“. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2006. 70 s.
17. KONTURA TOOLS. *Přesný stříh – více než jen výrobní metoda*. [online]. [cit.2009-02-24]. Dostupný na World Wide Web: <[http://www.konturatools.cz/News/Presny\\_strih\\_-\\_vice\\_nez\\_jen\\_vyrobní\\_metoda.pdf](http://www.konturatools.cz/News/Presny_strih_-_vice_nez_jen_vyrobní_metoda.pdf)>
18. *Povrchová úprava*. [online]. [cit.2009-03-04]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2007-03.pdf>>
19. WISURA. *Oleje pro stříhání*. [online]. [cit.2009-02-26]. Dostupný na World Wide Web: <[http://www.servis-oleju.cz/partneri/fuchs/technické\\_listy/PI/PI\(c\)%20WISURA%20oleje%20pro%20střihání.pdf](http://www.servis-oleju.cz/partneri/fuchs/technické_listy/PI/PI(c)%20WISURA%20oleje%20pro%20střihání.pdf)>
20. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Lasery, laserové technologie a stroje s laserem*. [online]. [cit.2009-05-13]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/lasery-laserove-technologie-a-stroje-s-laserem>>
21. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *CO<sub>2</sub> laserové řezací centrum s létající optikou*. [online]. [cit.2009-05-13]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/co-sub-2-sub-laserove-rezaci-centrum-s-letajici-optikou>>
22. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Přednosti řezání vodním paprskem*. [online]. [cit.2009-04-20]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/prednosti-rezani-vodnim-paprskem>>
23. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Nekonvenční metody obrábění*. [online]. [cit.2009-04-20]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonzvenční-metody-obrabení>>
24. FEINTOOL. *Technical data mechanical series MFA*. [online]. [cit.2009-05-14]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.feintool.com/en/fineblankingequipment/fineblk-products/fineblk-prod-squeezersandplants/fineblk-prod-sque-mechanicmodelrange/fineblk-prod-sque-mech-details-2.htm>>
25. FERMAT. *LE 160 D Šmeral*. [online]. [cit.2009-05-14]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.fermatmachinery.com/cs/24-reference/>>
26. *Tvářecí stroje*. [online]. [cit.2009-05-14]. Dostupný na World Wide Web: <<http://www.soustruhy.cz/main.php3?akce=zobraz&lang=cz&ids=318&s2=tvareci>>
27. ČSN 22 6015, část III. *Technologie stříhání*.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A	mm	šířka můstku
a	mm	délka ramene ohýbané součásti
a'	mm	vzdálenost okraje otvoru od osy ohybu
A <sub>c</sub>	J	celková střižná práce
a <sub>n</sub>	mm	vzdál. špičky tlačné hrany od křivky stříhu
A <sub>O</sub>	J	ohýbací práce
A <sub>p</sub>	J	práce přidržovače
a <sub>s</sub>	mm	rameno střižné síly
A <sub>s</sub>	J	střižná práce
A <sub>v</sub>	J	práce vyhazovače
A <sub>z</sub>	J	celk. práce potřebná ke zhotovení součásti
B	mm	postranní odpad
b	mm	šířka materiálu
b <sub>1</sub>	mm	šířka materiálu po ohnutí
b <sub>p</sub>	mm	rameno přidržovací síly
c	–	koeficient závislý na druhu stříhání
c <sub>1</sub>	–	součinitel stírání
c <sub>2</sub>	–	součinitel protlačení
c <sub>3</sub>	–	součinitel polohy neutrální plochy
C <sub>MN</sub>	Kč	cena materiálu nástrojů
C <sub>V</sub>	Kč	cena výlisku
D	mm	průměr díry ve střižnici
d	mm	průměr střižníku
d <sub>T</sub>	m	délka tabule plechu
e	mm	oblast pružné deformace
E	MPa	modul pružnosti v tahu
F	N	celk. síla potřebná ke zhotovení součásti
F <sub>c</sub>	N	celková střižná síla
F <sub>k</sub>	N	kalibrovací síla
FN <sub>C</sub>	Kč	celkové fixní náklady
FN <sub>O</sub>	Kč	ostatní fixní náklady
F <sub>O</sub>	N	ohýbací síla
F <sub>Omax</sub>	N	celková ohýbací síla
F <sub>p</sub>	N	síla přidržovače
F <sub>pr</sub>	N	protlačovací síla
F <sub>s</sub>	N	střižná síla
F <sub>st</sub>	N	stírací síla
F <sub>v</sub>	N	síla vyhazovače
F <sub>φ3</sub>	N	střižná síla střižníku o průměru 3 mm
h	mm	pracovní zdvih ohýbadla
h <sub>t</sub>	mm	výška tlačné hrany
h <sub>1</sub>	mm	odlehčení za tlačnou hranou
h <sub>el</sub>	mm	hloubka elastick. vniku střižníku do mater.
H <sub>min</sub>	mm	minimální tloušťka střižnice
h <sub>p</sub>	m	pracovní zdvih ohýbacího nástroje

$h_{pl}$	mm	hloubka plastick. vniku střižníku do mater.
$h_s$	mm	hloubka vniku střižných hran při oddělení
JM	%	jednicové mzdy
K	mm	velikost kroku
$k_1$	–	součinitel otupení
$k_2$	–	koeficient pro stanovení střižné práce
$k_3$	–	koeficient pro určení min. poloměru ohybu
$l$	mm	vzdálenost podpor ohýbadla
$l_c$	mm	celková délka rozvinutého polotovaru
$L_h$	mm	délka tlačné hrany
$l_i$	mm	délka přímých úseků na ohýbané součásti
$l_o$	mm	délka ohnutého úseku v neutrální ploše
$l_s$	mm	obvod stříhu
$l_u$	mm	vzdálenost mezi středy $R_{oe}$ a $R_e$ u U ohybu
$l_v$	mm	vzdálenost mezi opěrami ohybnice
M	mm	šířka pásu plechu
m	–	opravný koeficient průběhu ohýbací síly
$m_H$	Kč·hod <sup>-1</sup>	průměrná hodinová mzda
$m_o$	kg	hmotnost odpadu
$M_O$	Nm	ohybový moment
$M_{Oel}$	Nm	ohybový moment elastický
$M_{Opl}$	Nm	ohybový moment plastický
$m_T$	kg	hmotnost jedné tabule plechu
$N_C$	Kč	celkové náklady
$N_{C1}$	Kč	celkové náklady na 1 kus
$N_{hs1}$	Kč·hod <sup>-1</sup>	strojní hodinová sazba tabulových nůžek
$N_{hs2}$	Kč·hod <sup>-1</sup>	strojní hodinová sazba lisu MFA 1600
$N_{hs3}$	Kč·hod <sup>-1</sup>	strojní hodinová sazba lisu LE 160 D
$N_M$	Kč	náklady na materiál
$N_{MN}$	Kč	náklady na mzdy
$N_{MZ1}$	Kč	náklady na obsluhu tabulových nůžek
$N_{MZ2}$	Kč	náklady na obsluhu lisu MFA 1600
$N_{MZ3}$	Kč	náklady na obsluhu lisu LE 160 D
$N_{MZC}$	Kč	celkové náklady na mzdy
$N_N$	Kč	celkové náklady na nástroje
$N_{Ne}$	Kč	nepřímé náklady
$N_P$	Kč	celkové přímé náklady
$N_{P1}$	Kč	přímé náklady na 1 kus
$N_{s1}$	Kč	náklady na tabulové nůžky
$N_{s2}$	Kč	náklady na lis MFA 1600
$N_{s3}$	Kč	náklady na lis LE 160 D
$N_{SC}$	Kč	celkové náklady na stroje
OPN	%	ostatní přímé náklady
p	Kč·kg <sup>-1</sup>	cena materiálu
$P_k$	ks	počet kusů z 1 pásu plechu
$p_k$	MPa	měrný tlak pro kalibrování
$P_p$	ks	počet kusů z 1 tabule plechu
$p_s$	MPa	tlak ve stříhaném materiálu
$P_T$	ks	požadovaný počet tabulí plechu

$p_v$	MPa	měrný tlak vyhazovače
$Q$	ks	výrobní množství
$Q_{BZ}$	ks	bod zvratu
$R_a$	$\mu\text{m}$	drsnot povrchu
$R_e$	MPa	mez kluzu
$R_m$	MPa	mez pevnosti
$R_N$	Kč	režijní náklady
$R_o$	mm	poloměr ohybu
$R_{oe}$	mm	poloměr zaoblení ohybnice
$R_{ok}$	mm	poloměr zaoblení ohybníku
$R_{Omax}$	mm	maximální poloměr ohybu
$R_{Omin}$	mm	minimální poloměr ohybu
$R_p$	mm	poloměr zaoblení přídržovače
$R_{p0,2}$	MPa	mez kluzu při deformaci 0,2% původ. délky
$R_{se}$	mm	poloměr zaoblení střížnice
$R_{sk}$	mm	poloměr zaoblení střížníku
$S$	$\text{mm}^2$	plocha přesně stříhané součásti
$S_o$	$\text{mm}^2$	kolmý průmět plochy polotovaru při ohybu
$S_p$	$\text{mm}^2$	obsah pásu plechu
$SR$	%	správné režie
$S_s$	$\text{mm}^2$	plocha stříhu
$s_s$	–	součinitel k výpočtu střížné práce
$S_t$	$\text{mm}^2$	obsah tabule plechu
$S_v$	$\text{mm}^2$	obsah plochy stříhané součásti
$S_{\Phi 3}$	$\text{mm}^2$	plocha průřezu střížníku o průměru 3 mm
$\bar{s}$	m	šířka tabule plechu
$t$	mm	tloušťka plechu
$t_1$	mm	tloušťka plechu po ohnutí
$t_{A1}$	hod	čas práce tabulových nůžek
$t_{A2}$	hod	čas práce lisu MFA 1600
$t_{A3}$	hod	čas práce lisu LE 160 D
$t_{B1}$	hod	čas dávkový pracovníka tabulových nůžek
$t_{B2}$	hod	čas dávkový pracovníka u lisu MFA 1600
$t_{B3}$	hod	čas dávkový pracovníka lisu LE 160 D
$u$	mm	vzdálenost mezi střížníkem a střížnicí
$u'$	mm	vzdálen. mezi základací deskou a střížnicí
$v$	mm	střížná vůle
$V_N$	Kč	variabilní náklady
$V_{N1}$	Kč	variabilní náklady na 1 kus
$v_o$	mm	vůle při ohýbání
$VR$	%	výrobní režie
$W$	$\text{m}^3$	modul odporu průřezu v ohybu
$x$	mm	posunutí neutrální plochy od osy průřezu
$z$	mm	střížná mezera
$z_{d1}$	$\text{min}^{-1}$	počet zdvihů tabulových nůžek
$z_{d2}$	$\text{min}^{-1}$	počet zdvihů lisu MFA 1600
$z_{d3}$	$\text{min}^{-1}$	počet zdvihů lisu LE 160 D
$Z_r$	–	součinitel rozšíření
$ZR$	%	zpracovatelská režie

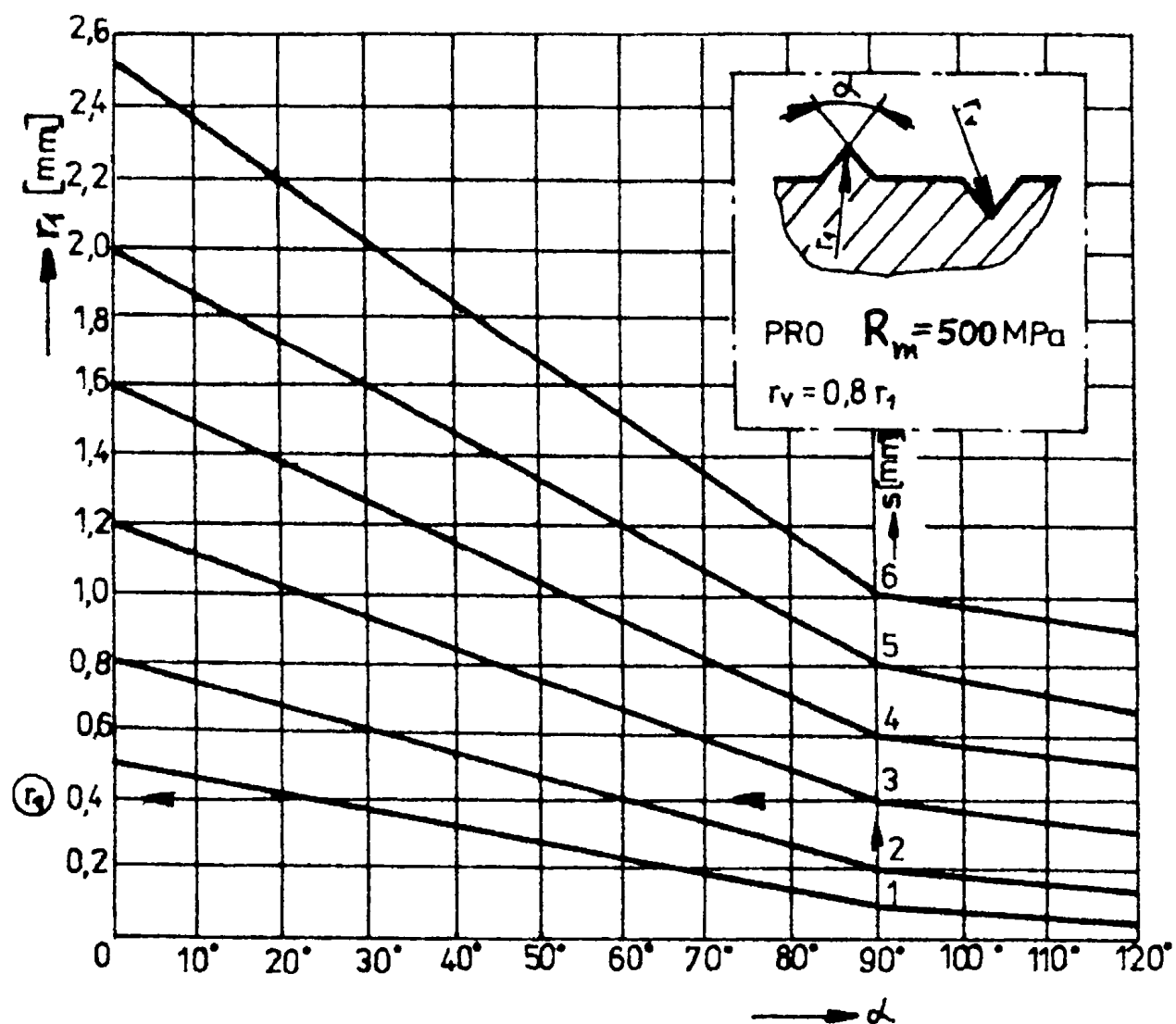
$Z_z$	—	součinitel ztenčení
$\alpha$	°	úhel ohybu
$\alpha_p$	°	vrcholový úhel přidržovače
$\alpha_{se}$	°	úhel zkosení díry ve střižnici
$\beta$	°	odpružení
$\delta$	°	úhel podbroušení ohybníku
$\varepsilon$	—	poměrné přetvoření
$\varepsilon_c$	—	mezní prodloužení
$\gamma$	°	úhel ohnutého úseku
$\varphi$	°	úhel natočení roviny $\tau_{max}$
$\mu_p$	%	využití pásu plechu
$\mu_t$	%	využití tabule plechu
$\rho$	mm	poloměr neutrální plochy
$\rho_o$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	hustota oceli
$\sigma$	MPa	napětí v materiálu
$\sigma_i$	MPa	složka hlavního napětí v materiálu
$\sigma_k$	MPa	napětí na mezi kluzu
$\sigma_n$	MPa	normální složka napětí
$\sigma_p$	MPa	přirozený přetvárný odpor
$\sigma_s$	MPa	střední napětí v materiálu
$\tau$	MPa	pevnost materiálu
$\tau_{max}$	MPa	maximální pevnost ve stříhu
$\tau_s$	MPa	mez pevnosti ve stříhu (střižný odpor)

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Diagram pro určení poloměrů rohů a hran  
Příloha 2 Diagramy pro určení min. průměru otvoru a min. šířky drážky  
Příloha 3 Diagramy pro určení min. vzdálenosti mezi otvory a mezi otvorem a hranou  
Příloha 4 Diagram pro určení velikosti postranního odpadu a šířky můstku  
Příloha 5 Velikost střížné vůle pro kovové materiály  
Příloha 6 Tabulka hodnot pro tlačnou hranu  
Příloha 7 Druhy oceli používané pro přesné stříhání

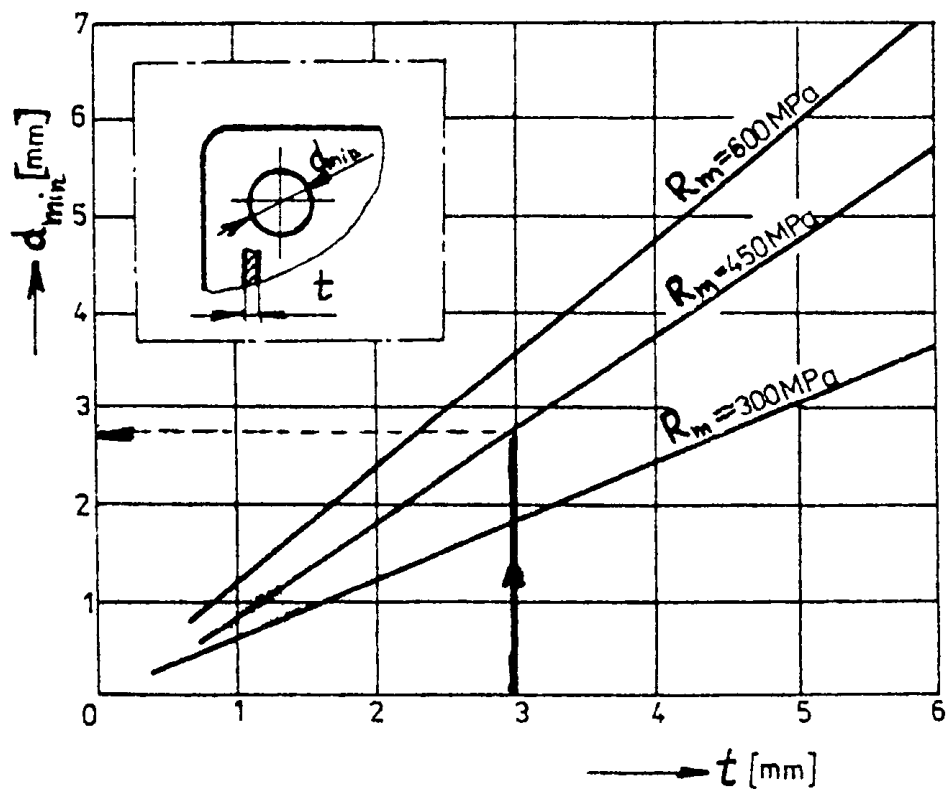
Výkresová dokumentace střížného a ohýbacího nástroje

# Příloha 1 – Diagram pro určení poloměrů rohů a hran

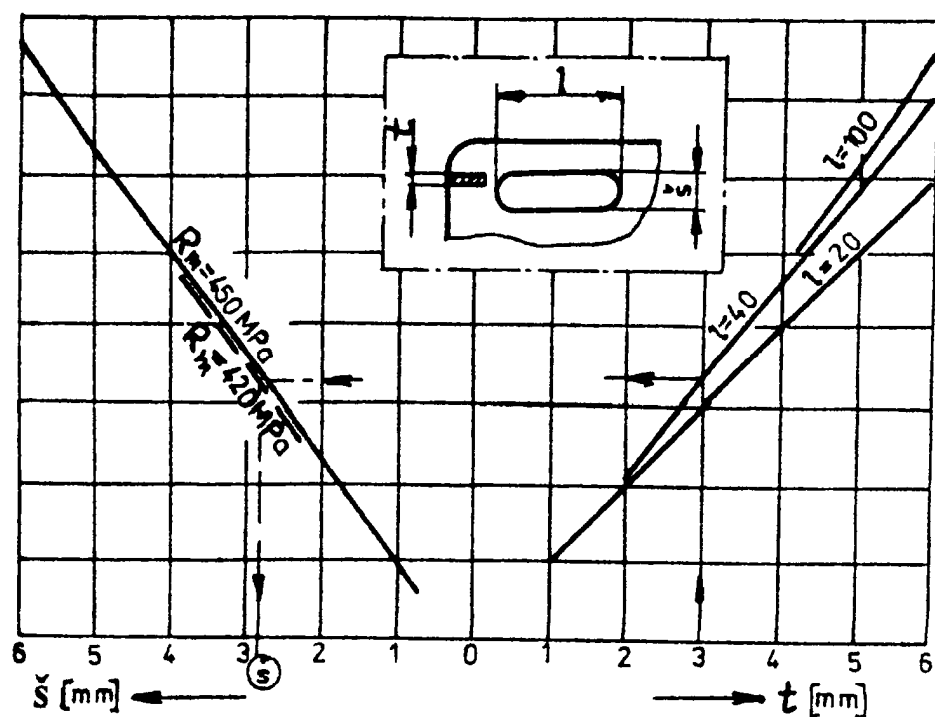




## Příloha 2 – Diagramy pro určení minimálního průměru otvoru a minimální šířky drážky

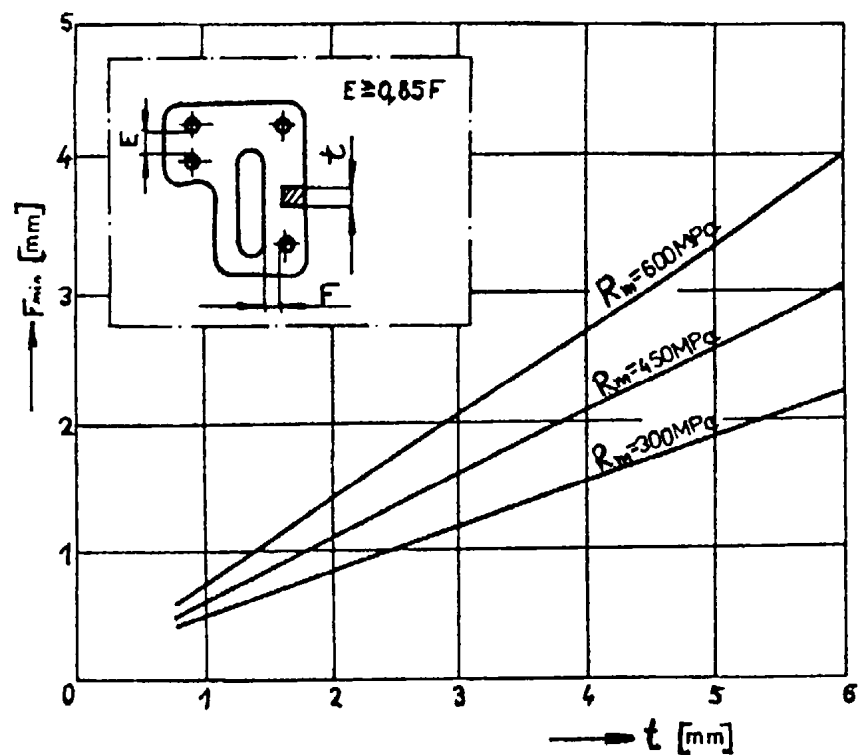


Určení minimálního průměru otvoru

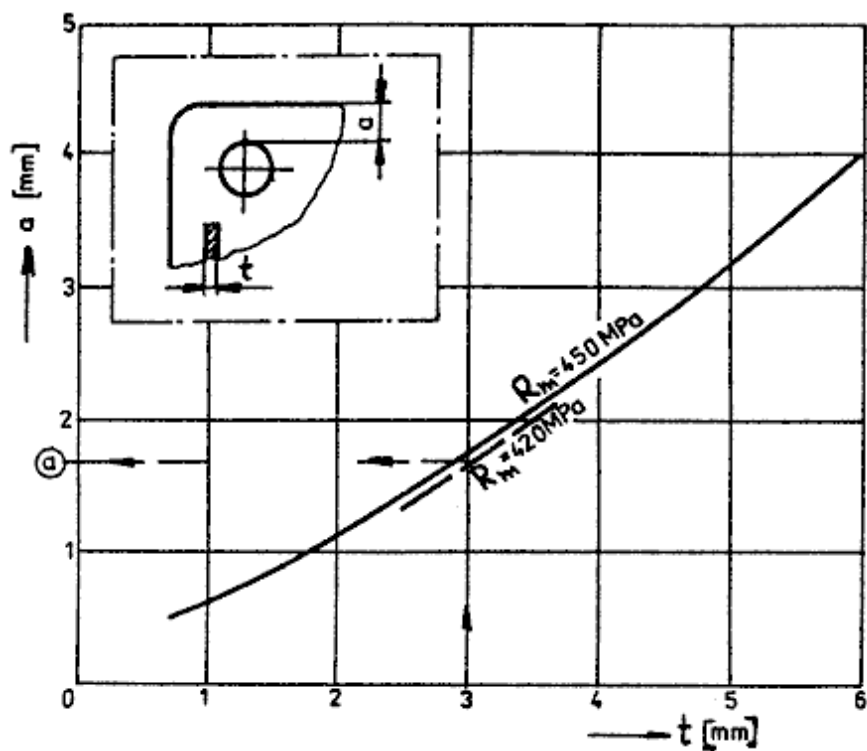


Určení minimální šířky drážky

### Příloha 3 – Diagramy pro určení minimální vzdálenosti mezi otvory a mezi otvorem a hranou

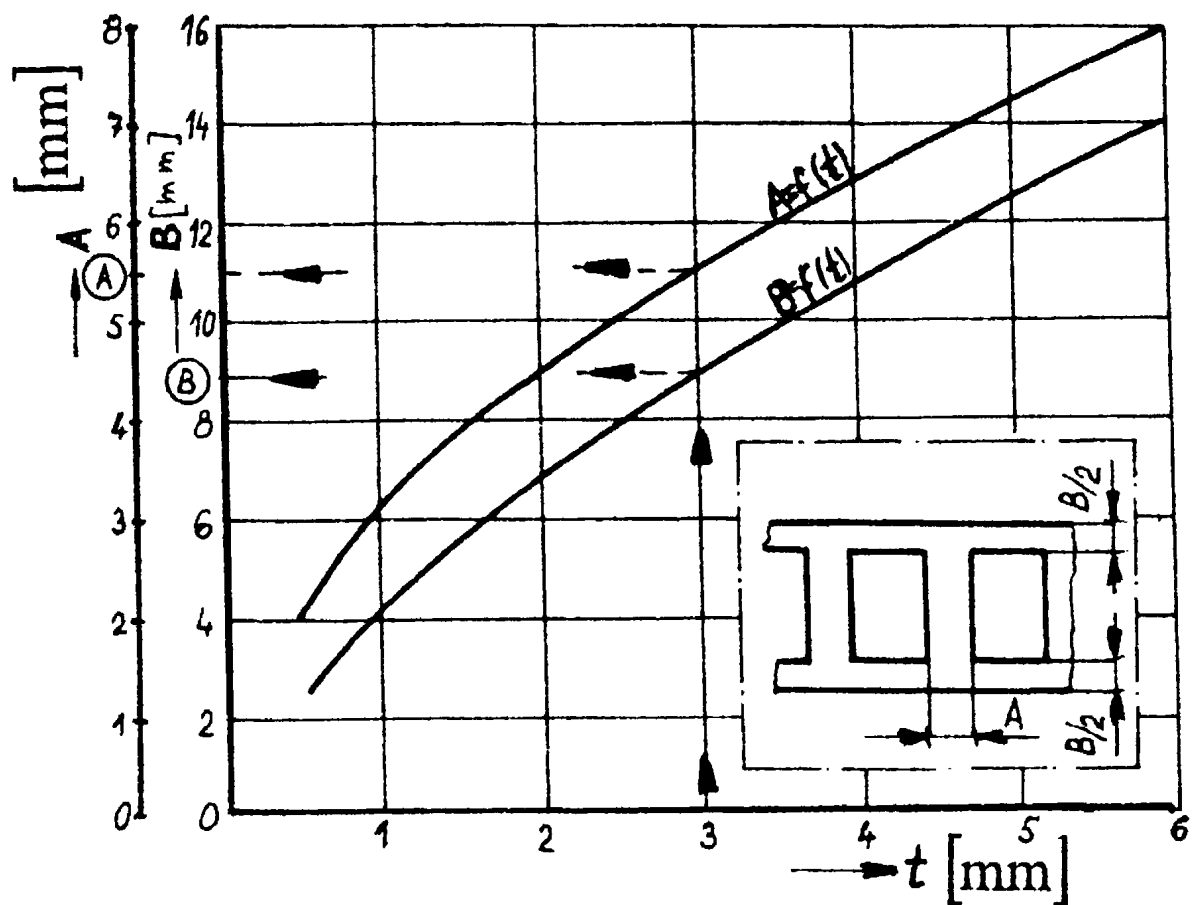


Určení minimální vzdálenosti mezi otvory



Minimální vzdálenost mezi otvorem a hranou

Příloha 4 – Diagram pro určení velikosti postranního odpadu a šířky můstku



## Příloha 5 – Velikost střížné vůle pro kovové materiály

Tloušťka materiálu [mm]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]					
	do 400		400 až 600		nad 600	
	v [%]	v [mm]	v [%]	v [mm]	v [%]	v [mm]
0,1	3-5	0,003-0,005	5-7	0,005-0,007	7-9	0,007-0,009
0,2		0,006-0,010		0,010-0,014		0,014-0,018
0,3		0,009-0,015		0,015-0,021		0,021-0,027
0,4		0,012-0,020		0,020-0,028		0,028-0,036
0,5		0,015-0,025		0,025-0,035		0,035-0,045
0,6	4-6	0,024-0,036	6-8	0,036-0,048	8-10	0,048-0,060
0,8		0,032-0,048		0,048-0,064		0,064-0,080
1,0		0,040-0,060		0,060-0,080		0,080-0,100
1,2		0,048-0,072		0,072-0,096		0,096-0,120
1,5		0,060-0,090		0,090-0,120		0,120-0,150
1,8	5-7	0,090-0,126	7-9	0,126-0,162	9-11	0,162-0,198
2,0		0,100-0,140		0,140-0,180		0,180-0,220
2,5		0,125-0,175		0,175-0,225		0,225-0,275
3,0		0,150-0,210		0,210-0,270		0,270-0,330
3,5		0,245-0,350		0,315-0,420		0,385-0,490
4,0	7-10	0,280-0,400	9-12	0,360-0,480	11-14	0,440-0,560
4,5		0,315-0,450		0,505-0,540		0,595-0,630
5,0		0,350-0,500		0,450-0,600		0,550-0,700
6,0		0,600-0,780		0,720-0,900		0,840-1,020
7,0	10-13	0,700-0,910	12-15	0,840-1,050	14-17	0,980-1,190
8,0		0,800-1,040		0,960-1,200		1,120-1,360
9,0		0,900-1,170		1,080-1,350		1,260-1,530
10,0		1,000-1300		1,200-1,500		1,400-1,700

## Příloha 6 – Tabulka hodnot pro tlačnou hranu

Tloušťka materiálu [mm]	$a_n$ [mm]	$h$ [mm]	$h_1$ [mm]	$R$ [mm]
0,5	0,5	0,2	0,25	0,04
0,8	0,6	0,25	0,3	0,05
1,0	0,7	0,3	0,35	0,06
1,2	0,8	0,3	0,35	0,06
1,5	1,0	0,35	0,4	0,07
1,8	1,2	0,4	0,45	0,08
2,0	1,4	0,4	0,45	0,08
2,2	1,5	0,4	0,45	0,08
2,5	1,75	0,4	0,45	0,08
3,0	2,1	0,45	0,5	0,09
3,5	2,5	0,45	0,5	0,09
4,0	2,8	0,5	0,55	0,1
4,5	3,2	0,5	0,55	0,1
5,0	3,7	0,55	0,6	0,11
5,5	4,0	0,6	0,65	0,12
6,0	4,2	0,6	0,65	0,12
6,5	4,4	0,65	0,7	0,13
7,0	4,6	0,65	0,7	0,13
7,5	4,8	0,7	0,75	0,14
8,0	5,0	0,7	0,75	0,14
8,5	5,25	0,7	0,75	0,14
9,0	5,5	0,8	0,85	0,16
9,5	5,75	0,8	0,85	0,16
10,0	6,0	0,85	0,9	0,17

## Příloha 7 – Druhy oceli používané pro přesné stříhání

Ocel	Chemické složení							Mechanické vlastnosti
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
11 300.20	0,09	-	-	-	-	0,040	0,040	340/220
11 320.21	0,11	-	-	-	-	0,045	0,045	400/180
11 330.30	0,13	-	-	-	-	0,050	0,050	400/300
11 343.20	0,17	-	-	-	-	0,050	0,050	420/190
11 373.20	0,22	-	-	-	-	0,050	0,050	420/210
11 423.21	0,24	-	-	-	-	0,050	0,050	520/230
11 700.20	0,65	-	-	-	-	0,055	0,055	780/380
12 010.1	0,14	0,65	0,37	0,15	0,30	0,040	0,040	400/230
12 014.1	0,06	0,45	0,15	-	-	0,020	0,020	450/350
12 020.1	0,13	0,60	0,17	0,35	0,30	0,040	0,040	420/260
12 023.1	0,19	0,65	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	370/220
12 024.1	0,24	0,65	0,37	-	-	0,040	0,040	400/240
12 040.1	0,40	0,80	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	400/290
12 050.1	0,50	0,80	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	550/300
12 060.1	0,60	0,80	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	610/350
12 061.1	0,65	0,80	0,37	0,25	0,30	0,040	0,040	670/390
13 180.0	0,80	1,20	0,35	0,30	0,40	0,035	0,040	-
14 109.3	1,10	0,50	0,35	1,65	0,30	0,027	0,030	740/-
14 180.0	0,80	0,50	0,35	0,60	-	0,030	0,030	1150/-
14 220.0	0,19	1,40	0,37	1,10	-	0,035	0,035	-
14 260.3	0,60	0,80	1,60	0,70	0,50	0,035	0,035	-
16 221.0	0,19	1,0	0,37	0,20	1,50	0,035	0,035	-
17 242	0,25	2,0	1,0	20,0	11,5	0,045	0,030	-
17 024	0,45	0,90	0,70	14,0	-	0,040	0,035	-
19 192	1,05	0,40	0,35	0,20	0,25	0,030	0,035	-
19 312.3	0,85	2,15	0,35	0,25	0,35	0,030	0,035	-
19 452.3	0,65	0,90	1,90	1,0	0,35	0,030	0,035	-